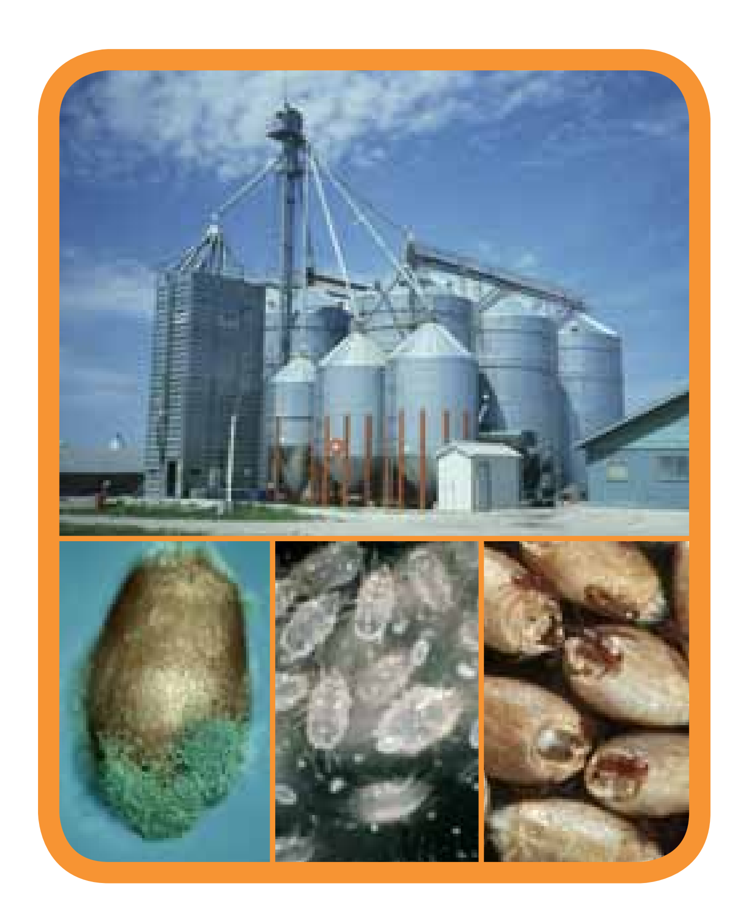
Agriculture and
Agri-Food Canada
Agriculture et
Agroalimentaire Canada
Canada

Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures



Publication 1851/F (éd. rev.)

Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures

Les recommandations relatives à l'usage des pesticides énoncées dans la présente publication ne sont données qu'à titre indicatif. L'application d'un pesticide doit être réalisée conformément au mode d'emploi indiqué sur l'étiquette du produit, comme le prescrit la *Loi sur les produits antiparasitaires*. **Il faut toujours lire l'étiquette**. Le pesticide devrait aussi être recommandé par les autorités de la province. Comme les recommandations relatives à l'emploi des pesticides peuvent varier d'une province à l'autre, il convient de consulter un représentant du service agricole provincial pour obtenir de plus amples renseignements.

Illustrations de la page couverture
(Haut) Cellules d'acier utilisées pour l'entreposage de grain à la ferme dans l'Ouest canadien (bas, de gauche à droite) moisissure d'*Aspergillus* sur le blé, ciron des champignons et curcujides roux.

Ce document est disponible sur Internet au site du Centre de recherche sur les céréales : http://www.agr.gc.ca/science/winnipeg/

Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Publication 1851/F (éd. rev.)

195, chemin Dafoe, Winnipeg (Manitoba) Canada R3T 2M9

Remplace 1851/F

Also available in English under the title
Protection of farm-stored grains, oilseeds and pulses from insects, mites and moulds

Préface

La présente publication traite des ravageurs des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme et décrit les méthodes permettant de détecter leur présence, de les réprimer et de prévenir leurs dégâts. Comme l'entreposage prolongé de ces récoltes est généralement effectué à la ferme, c'est dans les cellules d'entreposage utilisées à la ferme que les ravageurs sont les plus susceptibles de causer des dégâts. Pour prévenir et réduire ces dommages, le producteur doit reconnaître le problème et recourir aux méthodes courantes de lutte. L'efficacité des méthodes d'entreposage que nous préconisons repose sur l'application de pratiques de gestion rigoureuses et sur une connaissance générale des insectes, acariens et moisissures. Pour protéger adéquatement les récoltes entreposées, nous insistons sur l'importance de maintenir les températures basses en assurant une bonne ventilation des grains.

Rédacteur en chef : N.D.G. White

Auteurs

Dave Abramson (Ph.D.)
Centre de recherche sur les céréales, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Winnipeg (Man.).

Colin J. Demianyk (Ph.D)
Centre de recherche sur les céréales, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Winnipeg (Man.).

Paul G. Fields (Ph.D.)
Centre de recherche sur les céréales, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Winnipeg (Man.).

Digvir S. Jayas (Ph.D.)
Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba, Winnipeg (Man.).

John T. Mills (Ph.D., retraité)
Centre de recherche sur les céréales, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Winnipeg (Man.).

William E. Muir (Ph.D.)
Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba, Winnipeg (Man.).

Blaine Timlick
Commission canadienne des grains, Winnipeg (Man.).

Noel D.G. White
Centre de recherche sur les céréales, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Winnipeg (Man.).

Table des matières

Bonnes pratiques d'entreposage

- Prévenir les pertes causées par les insectes, les acariens et les moisissures en entreposant correctement les céréales, les oléagineux et les légumineuses à grain. Il est plus facile, plus sûr et moins coûteux de prévenir les infestations que de les réprimer.

- Préparer la cellule avant d'entreposer la nouvelle récolte en balayant le sol et les murs à l'aide d'un balai ou d'un aspirateur, en brûlant ou en enfouissant les balayures chargées de grains gâtés ou infestés, en obturant les fissures afin d'empêcher la neige, la pluie ou les insectes volants de pénétrer dans la cellule et en pulvérisant un insecticide de contact recommandé sur le sol et les murs.

- Installer un système de ventilation afin de refroidir le grain et de réduire la migration de l'humidité.

- Assécher les grains gourds ou humides peu après la récolte, ces derniers étant plus susceptibles de moisir ou d'être infestés par les insectes que les grains secs, puis les refroidir.

- Inspecter les récoltes entreposées toutes les 2 semaines afin d'y déceler les signes éventuels d'un échauffement ou d'une infestation, vérifier la température ou la concentration de dioxyde de carbone et surveiller l'activité des insectes en installant des pièges ou des sondes ou en examinant des échantillons de grain tamisé.

- Assécher les grains échauffés ou moisis. Si les grains échauffés ne peuvent être asséchés immédiatement, il est possible de ralentir leur détérioration en les ventilant pour les refroidir ou en les déplaçant et en les mélangeant avec des grains plus frais.

- Prévenir ou réprimer les infestations d'insectes en ventilant les grains pour les refroidir ou en les mélangeant avec des grains plus froids.

- Vérifier l'espace vide dans les entrepôts entre janvier et mars et éliminer la neige qui pourrait s'y être accumulée avant qu'elle fonde.

- Durant les applications d'insecticide, observer les mesures de sécurité. Seules les personnes détenant un permis approprié devraient être autorisées à appliquer des fumigants.

Introduction

La protection des céréales et des oléagineux entreposés contre les détériorations fait partie intégrante de leur production. Laissées sans protection, ces récoltes risquent d'être déclassées. Comme le poids et la qualité des grains échauffés ou infestés par les insectes et les acariens diminuent rapidement, l'agriculteur doit se montrer vigilant s'il ne veut pas voir son revenu amputé de plusieurs milliers de dollars. L'entreposage des céréales et des oléagineux à l'état frais et sec dans des cellules propres, non infestées, étanches et bien ventilées prévient ces pertes, maintient la qualité du grain et en facilite la commercialisation.

Parce qu'ils sont petits et fuient la lumière, les insectes et les acariens qui infestent les grains entreposés en vrac peuvent pénétrer profondément dans la masse. Dans les cellules vides, ils se cachent dans les fissures et les crevasses et peuvent y survivre dans les résidus jusqu'à l'arrivée de la nouvelle récolte. La plupart d'entre eux ne s'attaquent pas aux grandes cultures et ne sont pas récoltés avec les grains, même si, sous des latitudes plus chaudes, le charançon du riz et le petit perceur des céréales infestent les céréales dans les champs. Les ravageurs des denrées entreposées se nourrissent également de matières animales et végétales desséchées et de moisissures. Certaines espèces parviennent à survivre dans de la nourriture contenant seulement 8 % d'eau. Les insectes qui résistent au froid peuvent passer l'hiver dans les récoltes entreposées. L'été, certains insectes s'envolent et peuvent être transportés par le vent depuis les résidus de grains et les aliments pour animaux qu'ils infestent jusque dans les entrepôts de grains et même dans les maisons.

Au Canada, bon nombre des insectes et acariens qui infestent les céréales et les oléagineux entreposés sont résistants au froid et survivent à l'hiver en trouvant un habitat protégé parmi les grains, en s'adaptant au froid ou, dans le cas de certains acariens, en se transformant en un stade résistant qui ne s'alimente pas. Les insectes et les acariens se reproduisent rarement à des températures inférieures à 17 °C et à 3 °C, respectivement. Toutefois, lorsque les grains entreposés se réchauffent, les insectes, particulièrement le cucujide roux et le tribolium rouge de la farine, se multiplient rapidement et causent des dommages importants. Une forte teneur en eau des grains accroît également le risque d'infestation par les insectes et les acariens et provoque l'échauffement et la dégradation des grains. Les insectes, les acariens ainsi que les moisissures qui provoquent l'échauffement et la détérioration des récoltes entreposées sont inactifs à basse température (sous le point de congélation dans le cas des moisissures). L'hiver, le refroidissement des récoltes entreposées s'effectue plus rapidement et plus uniformément dans les petites cellules que dans les cellules plus grandes non ventilées. Les grains et oléagineux secs risquent moins de s'altérer que s'ils sont gourds ou humides. Les grains et oléagineux gourds sont particulièrement vulnérables aux infestations d'acariens.

Le canola est souvent infesté par les acariens et les moisissures. La teneur en eau du canola destiné à un entreposage prolongé devrait être inférieure à 8 %.

Les céréales et les oléagineux récoltés renferment de petites quantités de moisissures (champignons) de conservation qui se développent durant l'entreposage et provoquent la dégradation des grains. Par temps chaud, les moisissures se développent rapidement dans les grains entreposés gourds ou humides (tableau 1). Si les grains sont exposés à des conditions chaudes et humides durant la récolte et l'entreposage, certains champignons peuvent produire des substances toxiques appelées mycotoxines.

Il est plus facile de comprendre les problèmes soulevés par l'entreposage des céréales et des oléagineux si l'on considère l'amas de grains en vrac comme un écosystème dans lequel les organismes vivants (p. ex. grains, insectes, acariens et moisissures) et le milieu physique (p. ex. température, humidité et oxygène) interagissent. Habituellement, la qualité du grain diminue lentement, mais elle peut s'accélérer lorsque certaines conditions apparaissent dans la masse entreposée non perturbée, au point où la récolte peut se dégrader complètement.

Protection des denrées entreposées

Types d'entreposage

Pour prévenir les infestations et protéger la qualité des récoltes durant l'entreposage prolongé, il est essentiel que les cellules soient bien construites et à l'épreuve des intempéries. Les cellules installées sur un terrain surélevé bien drainé protègent efficacement les récoltes contre les fortes pluies et les crues printanières. Lorsqu'elles sont vides, les cellules en acier fournissent moins d'habitats favorables à la reproduction des insectes que les greniers en bois vides, quoique des insectes peuvent se cacher dans la poussière et la paille sous les planchers perforés.

Il faut ériger les cellules en acier sur une dalle de béton armé afin d'empêcher la formation de fissures et le transfert de l'humidité au travers du plancher. Les fissures du plancher et les joints entre la dalle et la paroi de la cellule doivent être étanchéifiés à l'aide d'un calfeutrant. La dalle de béton doit être légèrement convexe pour permettre l'écoulement de l'eau. Il faut éviter de remplir la cellule au-delà de la virole supérieure et laisser amplement d'espace au-dessus de la surface du grain pour permettre l'inspection et le prélèvement d'échantillons. Il convient d'installer un système de ventilation afin de refroidir la récolte et d'empêcher la migration de l'humidité de façon à réduire au minimum le risque de détérioration et d'infestation par les insectes ou les acariens durant l'entreposage.

Lorsque les rendements sont supérieurs à la moyenne, les récoltes sont souvent entreposées dans des hangars ou des granges. Dans ce cas, il faut prendre toutes les précautions qui s'imposent pour empêcher la détérioration

des récoltes et obturer les fissures dans les planchers de béton au moyen d'un calfeutrant.

L'entreposage temporaire du grain peut se faire dans des cellules circulaires en contre-plaqué. Ces cellules devraient être érigées sur un terrain surélevé et sec. Il faut également conférer au sol sous le grain une forme conique afin de favoriser l'évacuation de l'eau de pluie et de fonte. Les abords de la cellule doivent être désherbés ou déchaumés, de manière à ce qu'ils ne servent pas d'abri aux souris. Il faut donner à l'amas de grains une forme conique la plus prononcée possible afin de favoriser l'évacuation de l'eau de pluie et de fonte et d'éviter la présence d'un vide entre le bord supérieur de la cellule et la surface de la récolte. Il faut éviter de marcher sur les grains, car l'eau pourrait s'accumuler dans les dépressions laissées par les empreintes de pas. Si la récolte façonnée en cône est recouverte d'une pellicule de plastique, il faut assujettir cette dernière à l'aide de tulle pour filet de pêche ou de plusieurs vieux pneus afin de l'empêcher de battre au vent et de se déchirer. Les pellicules perforées à chaque coin pour permettre à l'humidité de s'échapper peuvent laisser entrer plus de neige que les feuilles non perforées.

Prévention des détériorations

La plupart du temps, la détérioration débute près du sommet du centre de la masse entreposée, où la migration de l'humidité et l'infiltration de neige peuvent provoquer une hausse de la teneur en eau (figure 1). Il est possible de préserver à peu de frais la qualité des céréales et des oléagineux entreposés en faisant circuler de l'air à travers la masse. Cet air peut être soit insufflé, soit aspiré au moyen d'un ventilateur (figure 2) raccordé à la cellule par des conduites ou un plancher perforés. Si l'air est insufflé, la couche supérieure de la masse sera la dernière à se refroidir. Il faut alors examiner le dessus de la masse pour déterminer si toute la masse est refroidie ou si des signes d'altération commencent à se manifester. Si l'air est chassé hors de la cellule par inversion de l'écoulement d'air, la dernière partie à se refroidir sera la couche inférieure. Dans ce cas, la détérioration peut se produire dans le fond de la cellule, et elle est alors beaucoup plus difficile à maîtriser ou à surveiller.

Pour prévenir la détérioration des grains, les producteurs peuvent recourir à la ventilation pour :

- refroidir la récolte;
- assécher la récolte sans apport de chaleur;
- assécher la récolte avec apport de chaleur.

Ventilation

Objet La ventilation a pour but de préserver le grain sec entreposé en le refroidissant et en prévenant la migration de l'humidité. Un système de ventilation

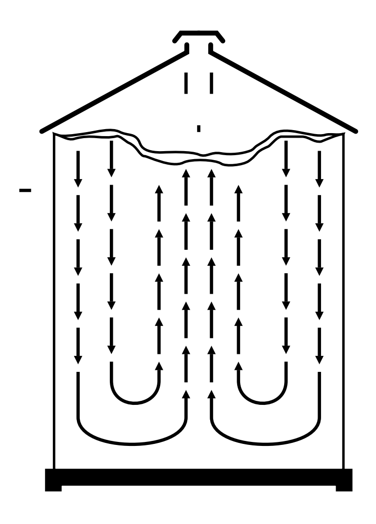


Figure 1. Migration de l'humidité dans une cellule non ventilée en automne et en hiver.



Figure 2. Unité de ventilation.

bien conçu et bien utilisé ne nécessite que de petits ventilateurs peu dispendieux, mais le débit d'air généré est trop faible pour assécher la récolte entreposée. La ventilation permet de préserver la qualité de l'orge brassicole sans provoquer l'apparition de résidus de pesticides, d'odeurs de moisissures ou de dommages dus à la germination.

Débit d'air Le débit d'air généré par les systèmes de ventilation varie habituellement entre 1 et 2 L/s par mètre cube de grains ou d'oléagineux.

Dimensions du ventilateur Habituellement, les ventilateurs utilisés pour le refroidissement des récoltes sont relativement petits. Ainsi, une cellule cylindrique mesurant 6,4 m de diamètre et de 6,8 m de hauteur à l'avant-toit et contenant 215 m^3 (6 000 boisseaux) de blé peut exiger un ventilateur d'une puissance d'à peine 250 à 600 W (la taille exacte dépend de l'efficacité du modèle utilisé et de la grosseur du ventilateur).

Lorsque l'objet premier de la ventilation est de refroidir la récolte et d'empêcher la migration de l'humidité, l'utilisation de conduites placées sur le sol ou noyées dans ce dernier produisant une circulation d'air non uniforme est habituellement acceptable. Les planchers perforés produisent un débit uniforme dans toute la masse et réduisent le risque de formation de poches non ventilées favorisant la détérioration. Mais même avec un tel système, le volume d'air qui circule au centre de la cellule est plus faible (figure 3). Il faut installer des trappes dans les planchers et les conduites afin de faciliter l'extraction des accumulations de résidus susceptibles d'abriter des ravageurs.

Le grain récolté par temps ensoleillé peut être de 8 °C plus chaud que la température ambiante au moment de son entreposage. La température du grain entreposé peut également être élevée si le grain n'a pas été refroidi correctement après avoir été asséché à l'air chaud. Lorsqu'une ventilation ascendante est amorcée pour refroidir le grain, l'humidité condense sur le toit plus froid de la cellule et retombe sous forme de gouttes d'eau sur la surface de la masse. Cette condensation s'amenuise à mesure que le toit de la cellule se réchauffe. L'installation de bouches d'évacuation dans le toit permet d'atténuer ce problème, et une ventilation uniforme permet d'éliminer le surplus d'humidité à la surface de la masse.

Fonctionnement du ventilateur Le passage forcé d'air frais de l'extérieur à travers la masse de grains ou d'oléagineux provoque l'ascension d'un front de refroidissement à travers la masse depuis le point d'admission d'air jusqu'à son point d'évacuation. Pour que le front de refroidissement traverse complètement la masse, il faut environ 240 h ou 10 jours de ventilation continue au débit de 1 L/s par mètre cube. Il faut laisser le ventilateur fonctionner sans interruption jusqu'à ce que le couche supérieure de la masse soit à la même température que

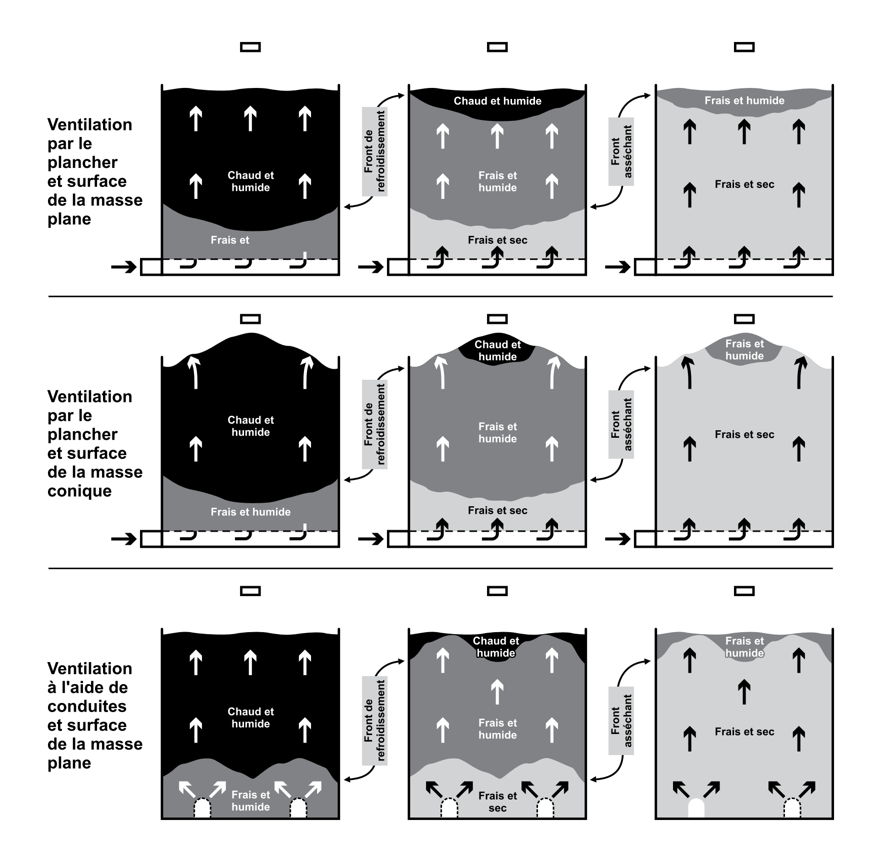


Figure 3. Déplacement des front refroidissant et asséchant à travers des masses de grain ventilée en automne.

l'air extérieur. Le refroidissement initial après la récolte peut permettre d'abaisser la teneur en eau de la masse de 0,5 à 1,0 %.

Normalement, la meilleure stratégie de lutte consiste à laisser fonctionner le ventilateur sans interruption après la récolte jusqu'à ce que la température des grains entreposés soit inférieure à 20 °C. Lorsque la température de l'air extérieur est inférieure d'environ 5 °C par rapport à celle de la récolte, il faut laisser tourner le ventilateur sans interruption jusqu'à ce que le nouveau front de refroidissement traverse complètement la masse de grain. En hiver, il faut laisser fonctionner le ventilateur jusqu'à ce que l'écart entre la température du grain entreposé et la température ambiante soit minimal.

Séchage en cellule avec apport d'air extérieur

Marche à suivre Il est possible d'abaisser la teneur en eau de la récolte en faisant passer de l'air de l'extérieur à travers la masse. Dans l'Ouest canadien, l'air

extérieur peut être utilisé à cette fin avec un apport de chaleur, sauf en hiver. Il n'est alors réchauffé que par le ventilateur et le moteur. L'assèchement débute au point d'admission de l'air dans la masse, habituellement au bas de la cellule. Un front asséchant se forme et progresse lentement vers le haut de la masse. Sous ce front, le grain se trouve à la température de l'air entrant, et son humidité est en équilibre avec celle de ce dernier. Par exemple, un apport d'air présentant une humidité relative de 70 % permettra d'abaisser la teneur en eau du blé à 14 à 15 %, et celui du canola, à 8 à 9 %. Le grain se trouvant au-dessus du front conserve la même teneur en eau qu'il présentait au moment de son entreposage, à 1 % près. Pour être efficace, le front doit avoir traversé toute la masse avant que les premiers signes de détérioration se manifestent. La vitesse d'ascension du front dépend principalement du débit d'air par unité de masse de grain ou d'oléagineux.

Pour être en mesure d'assécher toute la récolte le plus rapidement possible, il faut veiller à ce que le débit d'air qui traverse la masse soit uniforme. Si la cellule est pourvue d'un plancher complètement perforé et si la surface de la masse est plane, le débit est généralement uniforme, à moins qu'un noyau central de grains et de criblures (impuretés) compactés ne se forme sous le bec de remplissage. Dans les cellules où la transition entre le ventilateur et la caisson de répartition sous le plancher se fait mal, le débit d'air au travers de la masse près de l'entrée du ventilateur est réduit.

Sélection du débit Pour réduire le plus possible les frais d'exploitation et les coûts du matériel, il faut choisir le débit minimal acceptable, c'est-à-dire le débit qui permet d'assécher complètement la récolte tout juste avant qu'elle ne subisse une détérioration inacceptable au cours des pires années de séchage. Les producteurs devraient s'adresser à un représentant de leur service provincial local de génie des systèmes biologiques ou de génie agricole pour obtenir des recommandations concernant le débit et le matériel.

Choix de la cellule Pour un diamètre donné, les cellules plus hautes exigent des ventilateurs plus puissants, donc plus énergivores. L'économie réalisée en asséchant des masses de grain ou d'oléagineux moins hautes doit être comparée à la hausse des coûts de l'acier et du béton, le diamètre de la cellule devant être accru pour que cette dernière puisse accueillir la même quantité de grains.

Fonctionnement du ventilateur En automne, il faut laisser le ventilateur fonctionner sans interruption jusqu'à ce que la température de la masse soit descendue à -10 °C ou jusqu'à ce que le grain soit complètement sec. Au printemps, si les grains n'ont pas séché complètement au cours de l'automne précédent et si la récolte ne s'est pas détériorée, il faut reprendre le séchage dès que la température de l'air dépasse le point de congélation. Même par temps humide ou pluvieux, le ventilateur doit fonctionner sans interruption. Même si l'air humide réhumidifie

légèrement le fond de la masse, le front principal d'assèchement poursuivra son ascension dans la masse. Si le ventilateur continue de fonctionner pendant quelques jours après la période de temps humide, l'humidité se dispersera probablement dans la masse sans provoquer de détérioration. La réhumidification peut même être avantageuse au plan économique si la teneur en eau de la couche inférieure de la masse a chuté sous la teneur maximale permise pour la vente. Même si le séchage améliore la qualité de la récolte, l'abaissement de la teneur en eau en deçà de ce seuil réglementaire réduit la masse marchande et, par conséquent, la valeur marchande de la récolte. Toutefois, en provoquant l'expansion des grains ou des oléagineux, la réhumidification peut causer une déformation des parois de la cellule.

Séchage en cellule avec apport d'air chauffé

Il est possible de réduire l'humidité relative de l'air admis dans la masse en augmentant sa température à l'aide d'une source de chaleur. Par exemple, si l'on élève de 20 °C à 25 °C la température d'une masse d'air présentant un taux d'humidité relative de 70 %, ce taux baisse à 50 %. La teneur en eau d'une masse de blé chute à 14 ou 15 % si ce blé est exposé à de l'air présentant une humidité relative de 70 %, mais à 10 ou 11 % s'il est exposé à de l'air présentant une humidité relative de 50 %. Même si le blé se conserve beaucoup mieux lorsque sa teneur en eau se situe entre 10 et 11 %, sa masse marchande est réduite d'environ 4 à 5 %, et sa valeur marchande est amputée d'autant sous le régime réglementaire actuel. Par conséquent, l'utilisation de chaufferettes au propane, de fournaises, de collecteurs solaires, etc. pour chauffer le grain peut se révéler une option peu rentable. Habituellement, le recours à des sources de chaleur additionnelles s'avère rentable uniquement lorsque l'humidité de l'air extérieur reste élevée pendant de nombreux jours, comme c'est le cas dans certaines régions de l'est du Canada. Par temps chaud, l'ajout de chaleur exige un ventilateur plus gros et un séchage plus rapide, parce que la récolte se détériore plus rapidement. Plus tard en automne, un éventail de taille plus modeste et moins dispendieux peut être utilisé avec un appareil de chauffage.

Prévention des infestations

Insectes

Pour prévenir les infestations et les réprimer, il est essentiel de connaître l'habitat et le cycle vital des insectes. Des études ont montré que la plupart des greniers vides abritent de faibles populations d'insectes et d'acariens. Les aliments pour animaux, les camions et la machinerie agricole sont d'autres sources d'infestation. Certains insectes peuvent voler ou marcher, ce qui accroît leur capacité d'infester les récoltes entreposées. Pour prévenir l'infestation et la détérioration des récoltes entreposés, il convient de prendre les mesures suivantes avant la récolte :

- Réduire le plus possible les criblures en éliminant les mauvaises herbes dans les cultures; les insectes ne pullulent pas dans les récoltes entreposées contenant peu d'impuretés.
- Nettoyer les entrepôts de grains, de préférence à l'aide d'un aspirateur, et brûler ou enfouir les balayures.
- Réparer les entrepôts et les rendre étanches aux intempéries avant de les utiliser.
- Ne pas laisser de déchets de grains ou d'aliments pour animaux s'accumuler à l'intérieur ou à l'extérieur des entrepôts.
- Désherber les abords des entrepôts.
- Ne pas entreposer la récolte dans des cellules situées à proximité d'aliments pour animaux susceptibles d'être infestés.
- Environ une semaine avant l'entreposage de la récolte, pulvériser un insecticide homologué sur les murs et le sol des entrepôts vides.
- Toutes les deux semaines, inspecter les grains et oléagineux entreposés à l'état gourd : 1) en enfonçant la main en différents points de la masse pour y déceler des signes éventuels d'échauffement ou d'encroûtement; (2) en plongeant une tige de métal dans la masse à diverses profondeurs afin d'y déceler des signes d'échauffement et en retirant cette tige, après au moins 15 minutes mais préférablement après 60 minutes, pour en apprécier la chaleur sur le poignet ou dans la paume.
- Entreposer les récoles uniquement dans des cellules propres et vides; les cellules qui renferment du vieux grain risquent d'être infestées.
- Vendre comme aliments pour animaux les grains les plus humides d'abord.
- Se rappeler que les grains ou oléagineux frais et secs se détériorent rarement.

Acariens

Pour prévenir ou réprimer les infestations causées par les acariens, il est recommandé d'appliquer les mesures suivantes :

- Veiller à ce que la teneur en eau des céréales demeure inférieure à 12 % et celle du canola, inférieure à 8 %.
- Transborder les céréales ou les oléagineux dans une cellule vide afin d'éliminer les poches de grains humides ou, en hiver, refroidir les céréales à l'aide d'un jet d'air pulsé jusqu'à obtention d'une teneur en eau de 15 ou 16 %.

Champignons de conservation (moisissures)

Pour prévenir l'activité des moisissures de conservation, il faut accorder une attention particulière à la teneur en eau et à la température de la masse au moment de la mise en cellule, en particulier si la récolte est entreposée dans des cellules non ventilées. La température de la masse doit être vérifiée toutes les semaines ou toutes les deux semaines. Les grains ou oléagineux très humides

ou trop chauds doivent être asséchés ou refroidis par ventilation (voir la section Prévention des détériorations). On peut utiliser un épandeur pour disperser les criblures (grains petits, abîmés et ratatinés, graines de mauvaises herbes, paillettes et paille) dans la masse. Il convient de garder en tête que l'augmentation de la masse volumique apparente dans la cellule réduit le débit d'air qui est poussé au travers de la masse. La neige soufflée par le vent doit être enlevée avant qu'elle ne fonde, car elle pourrait favoriser la croissance des moisissures. Pour stopper l'échauffement ou la détérioration de la récolte, il faut retourner la masse pour la refroidir et disperser les poches d'humidité, ou encore la ventiler ou l'assécher. Il est important d'être accompagné d'une autre personne lorsqu'on monte sur les cellules ou qu'on y pénètre. Il faut également porter un masque protecteur afin d'éviter d'inhaler des spores de moisissures en brisant des croûtes de moisissures dans la cellule ou en manipulant des grains ou des oléagineux gâtés.

Détection des problèmes

Il faut inspecter régulièrement les stocks de céréales et d'oléagineux afin d'être en mesure de déceler les premiers signes éventuels d'infestation ou d'altération. Il est recommandé de prélever des échantillons dans la masse toutes les 2 semaines pour déceler la présence éventuelle d'insectes ou de signes d'échauffement. Pour déterminer si la récolte est infestée par des insectes, il faut placer l'échantillon de céréales ou d'oléagineux dans un entonnoir muni d'un treillis pendant plusieurs heures (figure 4). En s'éloignant du grain qui s'assèche graduellement, les insectes et les acariens finissent par tomber dans un flacon collecteur.

Pour vérifier si les céréales sont infestées par des insectes, on peut également tamiser des échantillons prélevés en surface à l'aide d'un tamis n° 10 (mailles de 2,0 mm). Pour les graines de canola, plus petites, il faut utiliser un tamis n° 20 (mailles de 0,85 mm). Le prélèvement des échantillons dans la masse s'effectue à l'aide d'une sonde. Avant d'entreprendre l'inspection des échantillons en vue d'y détecter le mouvement d'insectes, il faut réchauffer les échantillons pendant quelques minutes. Il faut vérifier si les céréales et les oléagineux sont échauffés en évaluant la température de la surface de la masse ou celle d'une tige métallique enfoncée dans la masse pendant une heure.

Pour déceler la présence éventuelle d'acariens, il faut utiliser un tamis n° 20 ou 30 (mailles de 0,595 mm). Les échantillons de poussière et de criblures peuvent être examinés à la loupe dès qu'ils atteignent la température ambiante. Les pullulations d'acariens dans les criblures ressemblent à des amas de poussière en mouvement. Moins nombreux, les acariens ressemblent à de petits fragments de poussière et sont plus difficiles à détecter.

Aux fins de la détection, la capture des insectes s'effectue à l'aide de sondes tubulaires en plastique criblées de petits trous. Ces trous sont trop petits pour laisser passer les grains, mais ils laissent passer les insectes qui, en y pénétrant,

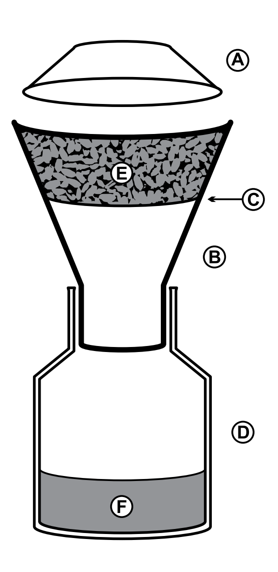


Figure 4. Dispositif utilisé pour l'extraction des insectes et des acariens infestant les céréales et les oléagineux : A. Ampoule; B. Entonnoir en métal; C. Treillis métallique soudé à l'entonnoir; D. Bocal collecteur en verre; E. 200 g de grain; F. 50 mL d'alcool à 70 % ou d'eau.

tombent dans le piège sans pouvoir s'en échapper (figure 5). On n'utilise habituellement pas de pièges dans les cellules d'entreposage des oléagineux, car les insectes n'y causent généralement pas de problèmes. Lors du nettoyage d'échantillons dans un détecteur d'impuretés, on peut observer les insectes libres dans le plateau de l'aspirateur.

Utilisés à des fins de surveillance, les pièges peuvent détecter les infestations dès qu'elles se forment, et les producteurs ou les préposés de silos à grains peuvent intervenir avant que les dommages ne soient trop importants. On peut installer des pièges dans les entrepôts, les élévateurs, les wagons et les bateaux pour vérifier les grains à toutes les étapes de l'entreposage et du transport. Les pièges doivent être enfoncés dans le centre de la masse, car c'est dans cette zone que les insectes se concentrent généralement, les températures et l'humidité y étant plus élevées. On peut laisser les pièges dans la masse pendant environ une semaine (les insectes adultes de certaines espèces résistantes au froid continuent d'être capturés jusqu'à 10 °C) avant de les récupérer en tirant sur une corde prévue à cette fin. Il est important d'identifier les insectes capturés, car les ravageurs granivores doivent faire l'objet de traitements chimiques, tandis que les espèces mycophages indiquent que le grain est en train de se dégrader et devrait être transbordé dans une autre cellule ou asséché.

Tableau 1. Teneur en eau (%) des grains de céréales, d'oléagineux ou de légumineuses à grain gourds ou humides.

	Teneur en eau (poids humide)	
Produit	**Gourd (%)**	**Humide (%)**
Blé	14,6-17,0	>17,0
Blé dur ambré	14,6-17,0	>17,0
Sarrasin	16,1-18,0	>18,0
Avoine	13,6-17,0	>17,0
Orge	14,9-17,0	>17,0
Graine de lin	10,1-13,5	>13,5
Canola	10,1-12,5	>12,5
Moutarde	9,6-12,5	>12,5
Seigle	14,1-17,0	>17,0
Pois	16,1-18,0	>18,0
Maïs	15,6-17,5	17,6-21,0
Soja	14,1-16,0	16,1-18,0
Tournesol	9,6-13,5	13,6-17,0

Source: Commission canadienne des grains, 2001.

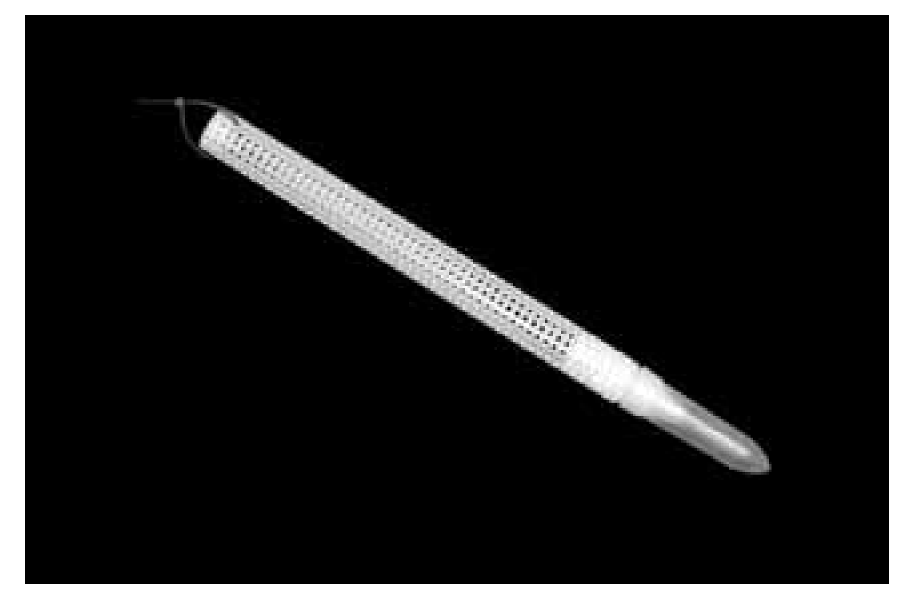


Figure 5. Piège en plastique utilisé pour la détection des insectes dans les denrées entreposées.

Détérioration et infestations

L'humidité et les températures moyennes à élevées favorisent la prolifération des moisissures de conservation et des insectes. Si leur croissance est ininterrompue, ces organismes peuvent provoquer la détérioration et l'échauffement des céréales et des oléagineux et des infestations.

Même lorsque les céréales et les oléagineux ont été entreposés à l'état sec, la migration de l'humidité à l'intérieur de la masse ou la pluie ou la neige qui pénètre dans la cellule par les orifices de ventilation du toit ou par d'autres ouvertures peuvent provoquer la formation de zones humides.

Le grain situé à proximité des parois et sous le toit se refroidit à mesure que la température de l'air extérieur s'abaisse en automne et durant l'hiver. Dans les cellules non ventilées de fortes dimensions (diamètre d'au moins 6 m), le grain situé au centre de la masse conserve sensiblement le même température que celle qu'il avait au moment de sa récolte jusque vers le milieu à la fin de l'hiver. Cet écart de température à l'intérieur de la masse détermine un mouvement ascendant de l'air au travers du noyau chaud central. Pendant que l'air chaud et humide monte, les grains froids se trouvant au sommet de la masse absorbent l'humidité de l'air. L'humidité de la masse d'air ascendante peut aussi se condenser ou geler sur la paroi interne du toit froid (figure 1).

Chaque type de récolte présente des caractéristiques d'entreposage particulières. Le succès de l'entreposage dépend principalement de la teneur en eau et de la température du grain, de la durée de l'entreposage et du moment où l'entreposage débute. Si l'on connaît le taux d'humidité et la température d'une récolte au moment de sa mise en cellule, on peut prévoir comment cette culture va se comporter durant l'entreposage. La figure 6 montre l'effet combiné de la teneur en eau et de la température du grain sur le succès de l'entreposage du canola, qui peut ou non se gâter en l'espace de 5 mois. Pour passer de la partie « détérioration » du graphique à la partie du bas, il suffit d'assécher le canola ou de le ventiler pour le refroidir.

Dans le cas du blé, on peut également prédire si une récolte se conservera sans détérioration pendant au moins six mois en se fondant sur l'effet combiné de l'humidité et de la température du grain au moment de la mise en cellule (figure 7).

Surveillance durant l'entreposage

Nécessité de la surveillance

Les grains entreposés sont des organismes vivants, et leur valeur marchande peut chuter rapidement s'ils se détériorent. Pour que le séchage en cellule soit efficace, il faut surveiller quotidiennement la masse entreposée et bien comprendre les processus de séchage et de détérioration. Ainsi, pour maintenir la valeur des grains durant l'entreposage, il faut mesurer régulièrement leur

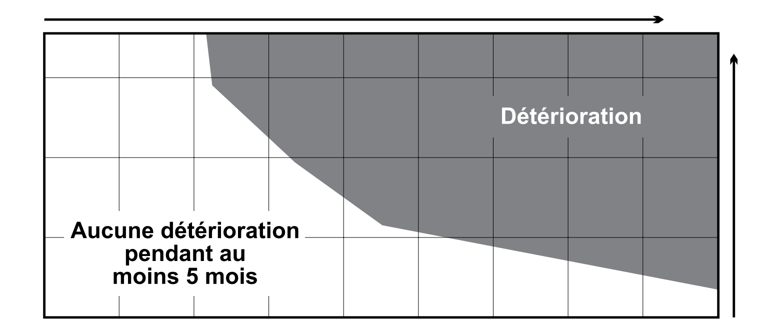


Figure 6. Diagramme de la durée d'entreposage du canola en fonction de la teneur en eau et de la température des graines au moment de la mise en cellule. Lorsque la teneur en eau dépasse 13 %, même les graines froides se détériorent rapidement.

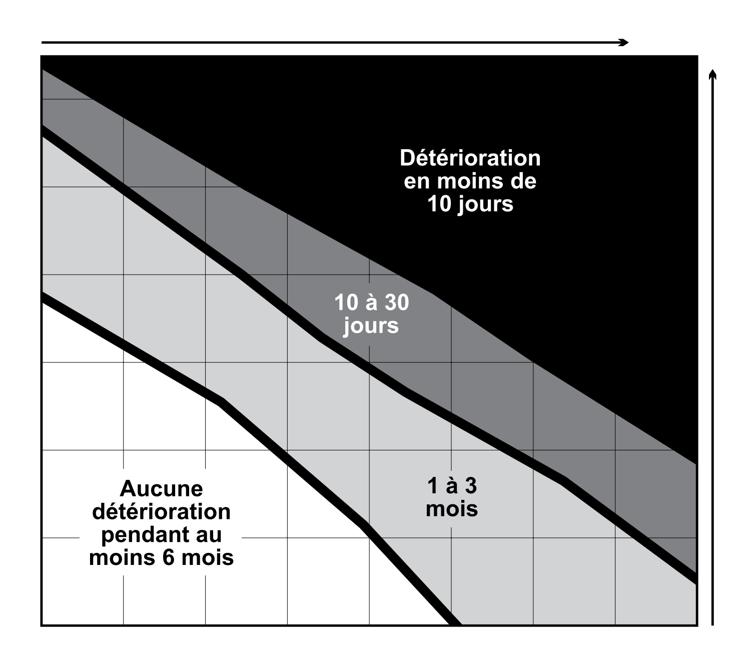


Figure 7. Diagramme de la durée d'entreposage du blé montrant les zones où la détérioration survient en moins de 10 jours ou en l'espace de 10 à 30 jours ou de 1 à 3 mois ou ne débute pas avant au moins six mois.

teneur en eau et leur température afin d'appliquer les mesures correctrices qui s'imposent s'il y a lieu de craindre que les grains se détériorent avant le séchage.

Pour effectuer cette surveillance, il est recommandé d'entrer dans les cellules, d'observer l'état et l'odeur du grain se trouvant à la surface de la masse et, au moyen d'une sonde, de prélever des échantillons dans les profondeurs de la masse. Parce qu'elle est fastidieuse, difficile et dangereuse à réaliser, cette procédure est souvent omise. La présence d'une détérioration en cours se détecte par un changement de la température ou de la concentration de dioxyde de carbone, ou des deux. Une odeur de moisi, des moisissures (vertes, bleues, jaunes, blanches) et des masses de grains agglutinés peuvent être présentes.

Température de la masse

La méthode de surveillance la plus simple et la couramment utilisée consiste à mesurer la température du grain dans la masse à l'aide de capteurs électriques installés à demeure ou de façon temporaire (figure 8). Ce dispositif consiste en un câble et en un appareil de mesure portatif à piles. Le câble est enfoncé dans le centre de la masse et ressort de la cellule de manière que le connecteur se trouve à hauteur d'oeil. Le câble fournit des lectures à tous les 1,2 m. Le premier point de lecture devrait se trouver à 0,3 à 0,6 m sous la surface de la masse (une fois le grain tassé). L'appareil de mesure est raccordé au connecteur, et les mesures de température dans la masse sont enregistrées.

En mesurant régulièrement la température dans la masse pendant la ventilation, il est possible de suivre la progression du front de refroidissement. La ventilation est interrompue lorsque la température à l'intérieur de la masse atteint celle de l'air extérieur, et elle est reprise lorsque la température de l'air extérieur chute à environ 5 °C sous celle de l'intérieur de la masse.

La détérioration du grain due à la prolifération de moisissures ou d'insectes s'accompagne d'une consommation d'oxygène et d'une libération de chaleur, de dioxyde de carbone et d'eau. La chaleur peut faire grimper la température du grain en train de se détériorer. En conséquence, dans une masse non ventilée, la mesure de la température peut aider à déceler l'altération des grains. Toutefois, l'utilisation et l'interprétation des données de température peuvent soulever des difficultés.

- La température des masses importantes de céréales ou d'oléagineux change lentement, à tel point qu'au centre d'une cellule de 6 m de diamètre, la température peut être maximale en hiver et minimale en été.
- Lorsqu'une petite poche de grains se détériore, la température au centre de cette dernière peut atteindre 65 °C, tandis qu'à seulement 50 cm plus loin, elle peut s'établir à seulement 10 °C. Pour déceler ces petites poches, il faut mesurer la température en de nombreux points ou, à tout le moins, aux endroits où le risque de détérioration est le plus élevé.

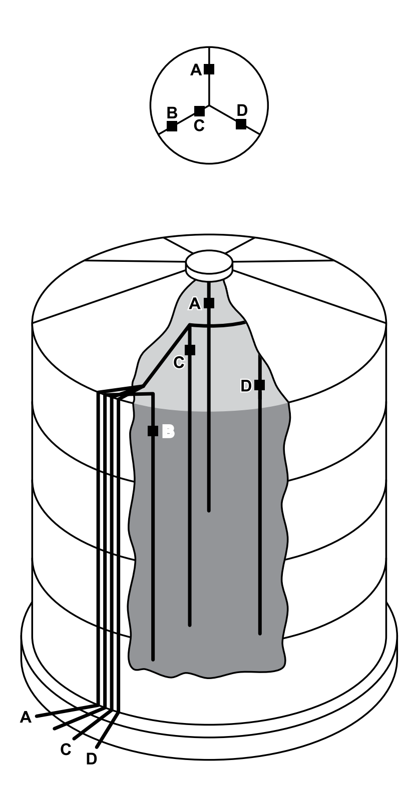


Figure 8. Dispositif de surveillance des températures à l'intérieur des cellules constitué de quatre câbles capteurs (A à D) suspendus à partir du toit. Les câbles A, B et D sont situés à mi-chemin entre la paroi et le centre de la cellule, tandis que le câble C est suspendu près du centre. *Note* : les câbles mesurant plus de 8 à 12 m de longueur doivent être supportés pour empêcher que le toit ne s'affaisse sous l'effet du poids des câbles (McKenzie *et al*., 1980). Il faut fixer les câbles au plancher afin d'éviter que le grain ne les pousse latéralement et produise des erreurs de lecture.

- La présence de basses températures à l'intérieur de la masse ne signifie pas nécessairement que la récolte est à l'abri de tout risque de détérioration. À -5 °C, certaines moisissures peuvent commencer à croître lentement; au-dessus de 10 °C, les moisissures et les acariens peuvent se multiplier rapidement. Toutefois, la plupart des insectes ne prolifèrent que si la température à l'intérieur de la masse est supérieure à 20 °C.
- Inversement, la présence à l'intérieur de la masse de températures supérieures à la température de l'air ambiant n'est pas nécessairement un signe de détérioration. Les récoltes sèches de qualité uniforme peuvent être entreposées en excellent état par temps chaud. Toutefois, en pareil cas, les insectes qui arrivent

de l'extérieur et ceux qui se cachent dans les murs et les débris jonchant le sol d'une cellule malpropre peuvent déclencher une infestation en se multipliant rapidement. Pour empêcher les insectes de se reproduire, il faut refroidir la récolte en la retournant ou en la ventilant. Si la récolte est entreposée dans de grosses installations non ventilées, la température près du centre de la masse peut demeurer relativement élevée durant tout l'hiver.

Concentration de dioxyde de carbone

Une deuxième façon de détecter une détérioration en progression causée par des moisissures ou des insectes consiste à mesurer la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'air intergranulaire. La dégradation biologique qui se produit normalement parmi les céréales et oléagineux entreposés consomme de l'oxygène et libère du dioxyde de carbone. La teneur en CO_2 de l'air extérieur oscille entre 0,03 et 0,04 % (300 à 400 ppm). La présence de concentrations supérieures à ces valeurs dans une cellule indique qu'une activité biologique (moisissures, insectes, acariens ou respiration du grain) est en train de causer la détérioration de la récolte.

Comme le CO_2 se disperse dans la masse de grain entreposée, il n'est pas nécessaire de prélever les échantillons directement dans les poches de détérioration, même s'il est préférable de concentrer l'échantillonnage là où la détérioration se produit habituellement, notamment dans le centre de la masse, à environ 1 ou 2 m sous la surface. Occasionnellement, la détérioration peut se produire autour des portes si celles-ci sont mal étanchéifiées, ou encore directement au-dessus du plancher, près de la paroi de la cellule, si l'eau qui suinte et se condense sur les parois ou qui pénètre par les bouches de ventilation humidifie le plancher. Ces foyers de détérioration peuvent libérer de fortes concentrations de CO_2 qui peuvent être détectées partout dans la cellule. Il est recommandé d'effectuer l'échantillonnage en plusieurs points de la cellule afin de déterminer si ces concentrations élevées sont localisées ou au contraire réparties à l'échelle de la cellule.

Dispositifs de dosage du dioxyde de carbone

Des échantillons d'air peuvent être prélevés dans des tubes en plastique de faible calibre installés temporairement ou en permanence dans la masse de grains, au moyen d'une pompe actionnée à la main, d'une seringue ou d'une pompe électrique. La concentration de CO_2 peut être mesurée à l'aide d'un détecteur électronique.

Une option moins dispendieuse consiste à utiliser des tubes doseurs à usage unique, peu coûteux (5,00 $ chacun en 2000), qui changent de couleur selon la concentration de CO_2 qui les traverse (figure 9). Ces tubes sont disponibles chez la plupart des détaillants de matériel de sécurité.

Identification des organismes

Ravageurs communs dans les denrées entreposées

Plus d'une centaine d'espèces d'insectes et d'acariens se rencontrent au Canada dans les denrées entreposées, mais seules quelques-unes d'entre elles peuvent causer des dommages importants. Les autres espèces sont mycophages, détritivores, prédateurs ou parasites.

Chez les coléoptères et les lépidoptères, les plus communs des insectes associés aux denrées entreposées, le cycle vital comporte quatre stades : l'oeuf, la larve, la nymphe et l'adulte (figure 10). Pour leur part, les psocoptères et les acariens

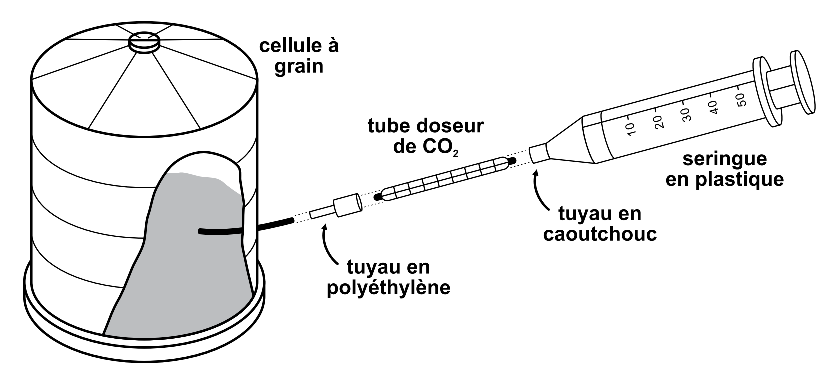


Figure 9. Dispositif de dosage du CO_2 permettant de détecter la détérioration des céréales et des oléagineux.

présentent seulement trois stades, soit l'oeuf, la nymphe et l'adulte.

Oeuf Les œufs sont déposés soit dans les crevasses du tégument des grains, soit dans la poussière et les débris accumulés dans les cellules d'entreposage. Chez certaines espèces, comme la calandre des grains, la femelle dépose ses œufs à l'intérieur des grains.

Larve C'est le seul stade de croissance. La larve consomme plusieurs fois son propre poids de nourriture et, comme son tégument est rigide, elle doit muer périodiquement pour grossir. La découverte d'exuvies dans les céréales, les oléagineux et leurs produits indique que des insectes sont ou étaient présents.

Nymphe Formée après la dernière mue larvaire, la nymphe ne se nourrit pas. Chez certaines espèces, elle est enfermée dans un cocon tissé par la larve. Durant sa vie nymphale, l'insecte subit une métamorphose interne et externe complète

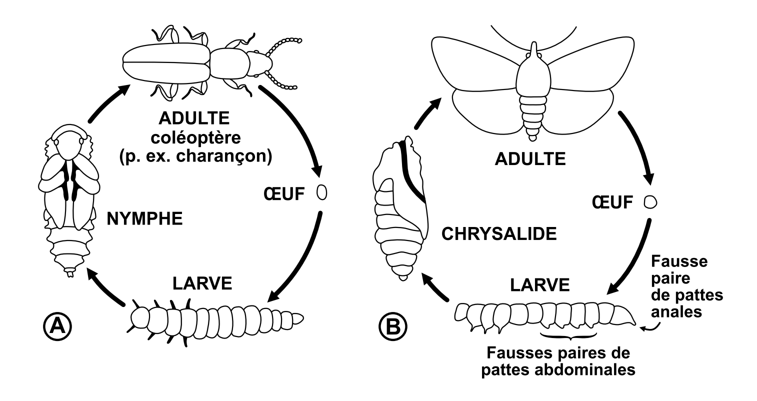


Figure 10. Cycles vitaux d'insectes infestant les denrées entreposées : A. Coléoptère; B. Lépidoptère.

qui mène au stade adulte.

Adulte Les adultes des espèces d'insectes qui infestent les denrées entreposées mesurent entre 0,1 et 1,7 cm de longueur. Le corps est pourvu de trois paires de pattes et se divise en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen. Les pièces buccales et les organes sensoriels sont situés sur la tête. Le thorax porte les pattes et les ailes. L'abdomen renferme les organes reproducteurs. Les adultes se déplacent dans les interstices entre les grains et, à l'exception des lépidoptères et des ptinidés, peuvent pénétrer profondément dans la masse. Certains de ces insectes peuvent voler et ont une vaste aire de répartition. Les coléoptères possèdent des ailes peu développées, et certaines espèces sont même incapables de voler, quoique le cucujide roux et le tribolium rouge de la farine volent très bien.

Coléoptères

Les coléoptères qui infestent les produits entreposés se ressemblent souvent, mais ils diffèrent par leur comportement et le type de dommages qu'ils occasionnent. Il importe d'identifier les espèces présentes avant d'intervenir. Le guide détaillé rédigé par Bousquet (1990) peut se révéler fort utile à cette fin. Une description des principaux coléoptères infestant les céréales et les oléagineux entreposés au Canada est présentée dans les paragraphes suivant.

Cucujide roux Dans la plupart des régions du Canada, ce coléoptère (planche I*a* et *b*) est le principal ravageur des grains entreposés. Il se nourrit habituellement du germe (embryon) du grain. Les infestations graves provoquent l'échauffement et la détérioration du grain. L'adulte, de forme aplatie, rectangulaire, luisant, brun

roux, mesure 0,2 cm de longueur et possède de longues antennes en chapelet projetées vers l'avant en forme de « V ». Le cucujide roux se déplace rapidement parmi le grain chaud et peut voler lorsque la température de l'air dépasse 23 °C. La femelle dépose ses œufs dans les crevasses des grains et dans la poussière de grains. Les larves, minuscules, pénètrent dans le germe des grains endommagés et s'en nourrissent. Dans le blé présentant une teneur en eau de 14,5 % et une température de 31 °C, le développement de l'oeuf à l'adulte s'effectue en l'espace d'environ 21 jours.

Cucujide plat Par l'aspect et les habitudes alimentaires, il ressemble au cucujide roux, mais les mâles possèdent des antennes plus longues. Le cucujide plat est un ravageur important du grain entreposé dans le nord des États-Unis, et il se rencontre aujourd'hui dans les cellules d'entreposage dans le sud des Prairies canadiennes.

Tribolium rouge de la farine Ce ravageur (planche II*c* et *d*) se développe dans les céréales et les oléagineux entreposés à la ferme et dans les silos primaires dans les provinces des Prairies et la majeure partie du Canada. L'adulte est brun rougeâtre et mesure 0,4 cm de longueur. Les larves et les adultes se nourrissent de grains brisés. Le développement de l'oeuf à l'adulte est bouclé en 28 jours lorsque les conditions de température et d'humidité sont optimales (31 °C et 15 %). Le développement est plus lent en présence de faibles conditions d'humidité (8 %). Par temps chaud, les adultes volent et peuvent être transportés par le vent dans les maisons ou d'autres bâtiments.

Tribolium brun de la farine L'adulte (planche II*e*) ressemble à celui du tribolium rouge de la farine et il est difficile de l'en distinguer sans l'aide d'un microscope ou d'une loupe. Les larves et les adultes se nourrissent de farine, d'aliments pour animaux et d'autres matières moulues. Contrairement au tribolium rouge, le tribolium brun est plus commun dans les meuneries que dans les autres types d'installations d'entreposage, et les adultes ne volent pas.

Tribolium noir d'Amérique Le tribolium noir d'Amérique est semblable au tribolium rouge de la farine, mais il est plus gros et noir. Il est commun dans les entrepôts vides, mais il pullule rarement dans les céréales et les oléagineux entreposés à la ferme.

C*oléoptères mycophages* Ces ravageurs infestent généralement les céréales et les oléagineux humides ou gourds et se nourrissent de la poussière et des moisissures qui leur sont associées. Les lots de semences sèches entreposés en vrac à proximité de lots de grains gourds ou humides peuvent aussi être infestés. Le cucujide des grains, le *Lathridius minutus* et le *Cryptophagus varus* sont les coléoptères myco-

phages les plus couramment rencontrés dans les céréales et oléagineux entreposés. Comme certaines espèces de coléoptères mycophages ressemblent au cucujide roux et sont approximativement de la même taille, il importe d'entreprendre la lutte chimique seulement après avoir confirmé l'identification des insectes détectés. Le cucujide des grains est semblable au cucujide roux, mais il est capable d'escalader une paroi de verre, alors que le cucujide en est incapable.

La découverte de coléoptères mycophages dans les céréales et les oléagineux entreposés est aussi préoccupante que celle du cucujide roux, car elle témoigne de la présence d'une forte humidité et de moisissures, deux facteurs qui accélèrent la dégradation de la récolte. Il importe alors d'assécher la récolte afin de briser les poches de grains gourds ou humides. Comme la fumigation ne freine pas la détérioration causée par les moisissures ou l'échauffement, il faut déplacer la récolte sans tarder afin d'éviter sa dégradation et des pertes considérables.

Cucujide dentelé des grains Ces coléoptères (planche I*c*) sont plus communs dans l'avoine que dans le blé, l'orge ou le canola, en particulier dans le sud de l'Ontario et du Québec. L'adulte est brun et mesure environ 0,3 cm de longueur. Son thorax est armé latéralement de six projections dentelées. Dans le grain chaud, lorsque les conditions sont optimales (31 à 34 °C et 14 à 15 % d'humidité), le cycle vital de l'oeuf à l'adulte est bouclé en l'espace d'environ 22 jours.

Calandre des grains La calandre des grains (planche Ie) est l'un des pires ravageurs des grains entreposés au monde. Ce charançon est rare dans les Prairies, mais il est présent en Ontario et dans les silos portuaires à Vancouver. Les adultes possèdent un rostre distinctif qu'ils utilisent pour creuser les grains de céréales. Après avoir foré un trou dans un grain, la femelle y dépose un seul oeuf, puis en obture l'ouverture au moyen d'un bouchon de consistance gélatineuse. Les larves se nourrissent de l'endosperme et achèvent leur croissance à l'intérieur du grain. Les adultes forent des trous d'émergence sur le côté des grains. En présence de conditions optimales (26 à 30 °C et 14 % d'humidité), le développement de l'oeuf à l'adulte s'effectue en l'espace de 25 à 35 jours. L'adulte mesure 0,3 à 0,4 cm de longueur et est incapable de voler. Surpris, il replie ses pattes sous son corps et feint d'être mort.

Charançon du riz Depuis quelques années, le charançon du riz (planche I*f*) se rencontre dans les entrepôts du sud-ouest de l'Ontario et dans certains silos des Prairies. Il mesure 0,2 à 0,4 cm de longueur et porte quatre taches orange rougeâtre bien visibles sur les élytres (première paires d'ailes cornées repliées au-dessus de l'abdomen). Le développement de l'oeuf à l'adulte s'effectue en 28 jours à 30 °C et à 14 % d'humidité. L'adulte peut voler et s'attaque à de nombreuses autres céréales que le riz. Le développement larvaire et la nymphose ont lieu à l'intérieur des grains.

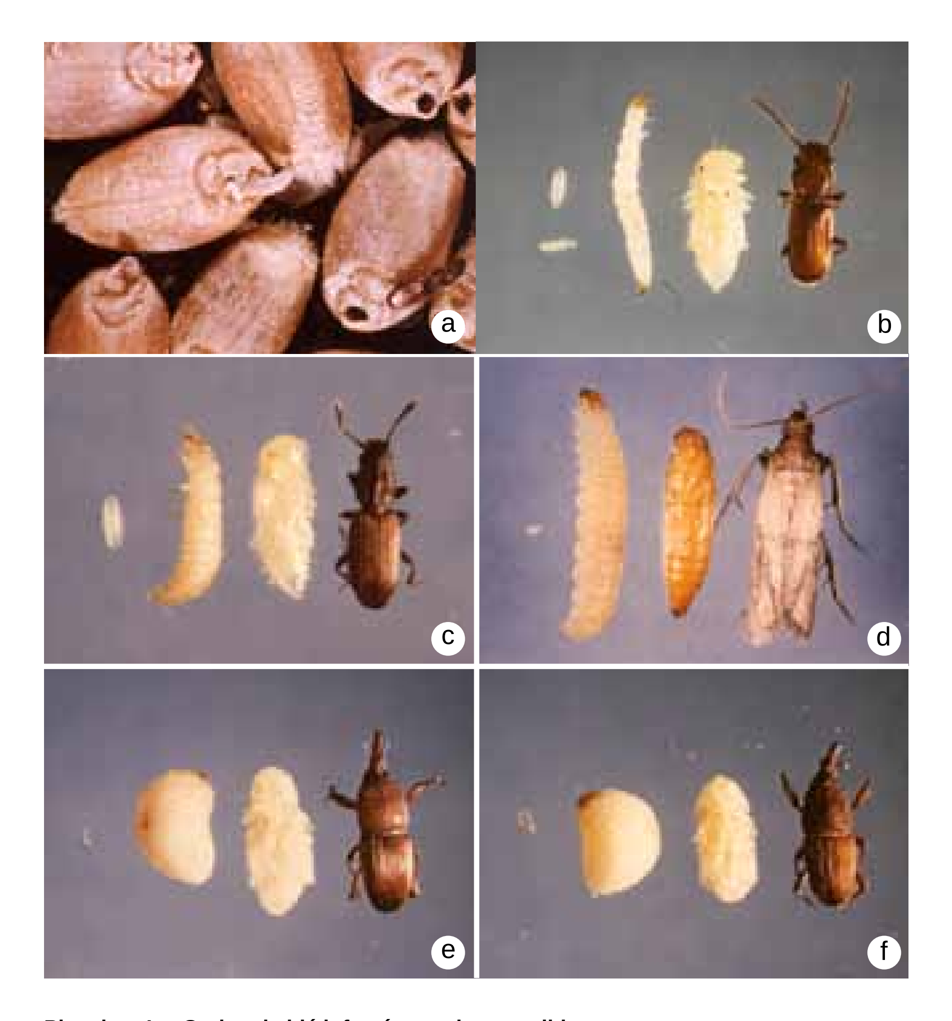


Planche I*a* **Grains de blé infestés par des cucujides roux.**

b **Cycle vital du cucujide roux (*de gauche à droite*) : œufs, larve, nymphe, adulte.**

c **Cycle vital du cucujide dentelé des grains (*de gauche à droite*) : œuf, larve, nymphe, adulte.**

d **Cycle vital de la pyrale indienne de la farine (*de gauche à droite*) : œuf, larve, chrysalide, adulte.**

e **Cycle vital de la calandre des grains (*de gauche à droite*) : œuf, larve, nymphe, adulte.**

f **Cycle vital du charançon du riz (*de gauche à droite*) : œuf, larve, nymphe, adulte.**

(Source : Sinha et Watters, 1985).

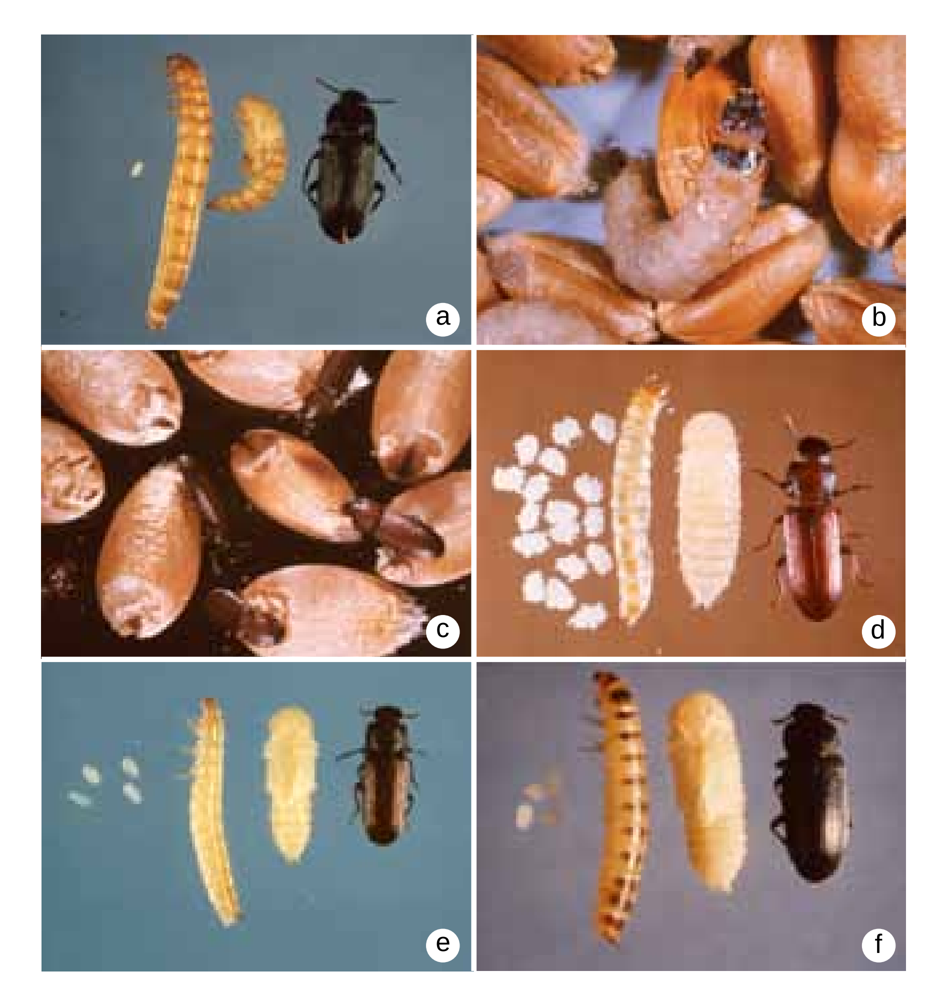


Planche IIa **Cycle vital du ténébrion meunier (*de gauche à droite*) :**
œufs, larve, nymphe, adulte.
b **Larve de cadelle sur des grains de blé.**
c **Grains de blé infestés par des triboliums rouges de la farine adultes.**
d **Cycle vital du tribolium rouge de la farine (*de gauche à droite*) :**
œufs, larve, nymphe, adulte.
e **Cycle vital du tribolium brun de la farine (*de gauche à droite*) :**
œufs, larve, nymphe, adulte.
f **Cycle vital du tribolium noir d'Europe (*de gauche à droite*) :**
œufs, larve, nymphe, adulte

(Source : Sinha et Watters, 1985).



Planche III Quelques insectes ravageurs (*a* à *c*) et non ravageurs (*d* à *f*) associés aux céréales et aux oléagineux :

- ***a*** **Pyrale méditerranéenne de la farine.**
- ***b*** **Pyrale de la farine (adulte).**
- ***c*** **Pyrale de la farine (larve).**
- ***d*** **Anthicidé.**
- ***e*** **Charançon de la racine du fraisier.**
- ***f*** **Dermeste du lard.**

(Gracieuseté de Lloyd Harris, Agriculture Saskatchewan, Regina, Sask.).

Petit perceur des céréales Cet insecte est un ravageur important du blé dans les plaines des États-Unis. L'adulte a le corps brun foncé et cylindrique et mesure 0,2 à 0,3 cm de longueur. La tête est invisible lorsque l'insecte est vu du dessus. Les adultes volent bien. Les larves forent des galeries dans les grains. Dans les grains chauds, le développement s'effectue en l'espace de 25 à 30 jours. Le petit perceur des céréales se rencontre occasionnellement dans le grain et a été capturé dans des pièges à phéromone en divers endroits des Prairies canadiennes et dans des silos portuaires à Vancouver et Thunder Bay. Toutefois, cet insecte est rarement observé dans le grain entreposé au Canada, et il est peu probable qu'il parvienne à survivre tout l'hiver dans les cellules agricoles dans l'ouest du Canada.

Ptine velu Le ptine velu est essentiellement un ravageur de la farine de blé et des aliments pour animaux, mais il peut aussi infester le grain entreposé près de la surface. Les larves et les adultes sont armés de mandibules puissantes qui leur permettent de percer de gros trous irréguliers dans l'endosperme des grains. L'adulte mesure 0,35 cm de longueur et possède de longues pattes arachnéennes et de longues antennes filiformes. Cet insecte est univoltin (une seule génération par année). Souvent, trois ou quatre larves peuvent agglutiner cinq à huit grains pour former un amas à l'intérieur duquel elles se nourrissent et croissent pendant jusqu'à 5 mois. Par la suite, chacune se tisse une loge nymphale d'où émergera d'adulte.

Le ténébrion meunier Le ténébrion meunier (planche II*a*) est le plus grand coléoptère vivant dans le grain entreposé, mais il n'est pas commun en milieu agricole. D'abord attiré par les aliments pour animaux, il peut ensuite infester les grains entreposés en train de se détériorer. L'adulte est noir et mesure environ 1,5 cm de longueur, tandis que la larve est jaune et mesure de 0,2 à 2,8 cm de longueur. Le ténébrion meunier préfère les endroits obscurs et humides dans les entrepôts ou les cellules d'entreposage d'aliments pour animaux. L'adulte vit plusieurs mois, tandis que la larve peut prendre un ou deux ans avant de se nymphoser lorsque les conditions sont défavorables. En raison de sa grosseur, il est facile à détecter et semble souvent plus abondant qu'il ne l'est en réalité. Sa présence est un signe de mauvaises conditions d'entreposage ou de déficience sannitaire.

Psocoptères

Les psocoptères sont légèrement plus gros qu'un ciron de la farine. Les adultes ont le corps mou et mesurent environ 1,0 mm de longueur. La tête est robuste et porte de longues antennes. Certaines espèces sont ailées et peuvent être confondues avec de petites mouches (figure 11*c*). La femelle pond une centaine d'œufs en trois semaines. Les individus issus de cette ponte atteignent l'âge adulte au cours de l'été. Le développement de l'oeuf à l'adulte s'effectue en environ 21 jours à 27 °C et à 13 % d'humidité. Certains adultes peuvent survivre 51 jours sans

nourriture. La plupart des années, les psocoptères ne causent aucun problème grave, même s'ils peuvent se nourrir de grains endommagés et vivent dans le grain gourd ou humide. Parfois, sans raison apparente, ils forment des pullulations sur de vastes territoires, sans cependant causer de dommages importants aux récoltes entreposées. Ils cohabitent habituellement avec d'autres insectes ou des acariens plus destructeurs des céréales et oléagineux entreposés, se nourrissant souvent de leurs œufs.

Lépidoptères

Ces insectes nuisibles sont répandus dans le centre du Canada ainsi que sur les côtes est et ouest. Les lépidoptères ne se nourrissent pas à l'âge adulte, mais leurs larves (ou chenilles) sont pourvues de pièces buccales puissantes et causent des dommages superficiels importants au grain entreposé. Les basses températures hivernales neutralisent habituellement les infestations de lépidoptères, qui se trouvent principalement confinés aux couches superficielles des grains humides ou gourds plus susceptibles de s'échauffer.

Pyrale indienne de la farine Ce papillon (planche 1*d*) est commun dans le centre du Canada où il infeste principalement le maïs et les aliments transformés destinés à la consommation humaine ou animale, ainsi que partout au pays dans

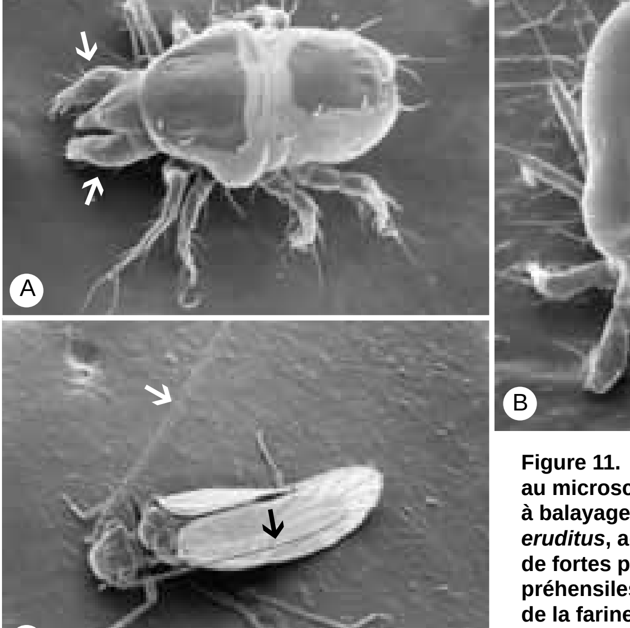




Figure 11. Images prises au microscope électronique à balayage : A. *Cheyletus eruditus*, acarien pourvu de fortes pièces buccales préhensiles (*flèches*); B. Ciron de la farine; C. Psocoptère ailé à longues antennes (flèches).

les entrepôts et les magasins.

Pyrale de la farine Modérément résistant au froid, cet insecte (planche III*b* et *c*) peut hiberner dans les greniers de ferme non chauffés des Prairies et y prospérer au cours de la saison chaude. La pyrale de la farine se rencontre habituellement dans les poches de grain humide et moisi. Les larves ont la tête noire et le reste du corps crème et mesurent environ 2 cm de longueur à la fin du dernier stade. À l'aide d'une substance soyeuse, elles agglutinent les grains en amas. L'adulte a une envergure de 2,5 cm. Les ailes antérieures sont brun pâle avec des taches basales et apicales brun foncé. Chaque aile est traversée de deux bandes blanches sinueuses. En été, le cycle vital est bouclé en approximativement deux mois.
Teigne des semences, Endrosis sarcitrella *et pyrale méditerranéenne de la farine* Ces lépidoptères (planche III*a*) se rencontrent fréquemment dans les silos portuaires sur les côtes est et ouest.

Acariens

Les acariens sont les plus petits des ravageurs des denrées entreposées. Bien qu'ils soient communs dans les grains présentant une teneur en eau de 14 à 17 %, ils passent inaperçus en raison de leur taille microscopique. Appartenant à la même classe que les araignées et les chilopodes, les acariens sont des créatures fragiles et difficiles à voir à l'oeil nu (figures 11 et 12). Contrairement à l'insecte adulte, qui possède une tête, un thorax et un abdomen bien démarqués et six pattes, l'acarien possède un corps en forme de sac portant huit pattes chez l'adulte, six chez la larve. Les acariens sont résistants au froid, et la plupart des espèces associées aux denrées entreposés se nourrissent de grains brisés, de semences de mauvaises herbes, d'impuretés et de moisissures et peuvent causer des infestations. Certains acariens, comme le *Cheyletus eruditus*, se nourrit d'individus de sa propre espèce, d'autres acariens ou d'œufs d'insectes et se reproduit dans les poches de grains gourds et humides de céréales et de canola. Environ huit espèces sont communes dans les entrepôts de ferme et les silos. Certaines espèces confèrent aux céréales et aux oléagineux une forte odeur de menthe. Le cycle évolutif des acariens comporte les étapes suivantes : oeuf, larve pourvue de six pattes, deux ou trois stades nymphaux pourvus de huit pattes et adulte pourvu de huit pattes. Certains acariens passent par un stade de développement mobile ou inactif au cours duquel ils ne s'alimentent pas (deutonymphes hypopes). Ils deviennent alors résistants aux basses températures hivernales, à la dessiccation, à la famine et à la plupart des fumigants. Ce stade peut se prolonger sur de longues périodes jusqu'à ce que les conditions redeviennent favorables.

Ciron de la farine Cet acarien (figures 11*B* et 12*A*) s'attaque au germe (embryon) des graines, réduisant de ce fait leur faculté germinative, et propage divers

Tableau 2. Coléoptères infestant les denrées entreposées au Canada

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Coloration de l'adulte	Longueur de l'adulte (mm)	Antennes	Capable de grimper sur une paroi en verre	Capable de voler	Développement œuf-adulte le plus rapide	Nourriture	Présence dans l'est du Canada	Présence dans l'ouest du Canada
Tribolium noir d'Amérique	*Tribolium audax*	Brun foncé, noir	3-4	Massue	Non	Non	25	Farine	Dispersée	Rare
Cadelle	*Tenebroides mauritanicus*	Brun foncé, noir	6-10	Massue	Non	Oui	70	Grains de céréales brisés, grains humides	Dispersée	Dispersée
Tribolium brun de la farine	*Tribolium confusum*	Brun rougeâtre	2-4	Massue	Non	Non	20	Farine	Commun	Commun
Tribolium noir d'Europe	*Tribolium madens*	Brun foncé, noir	4-5	Massue	Non	Oui	25	Farine	Dispersée	Rare
Cucujide plat	*Cryptolestes pusillus*	Brun rougeâtre	2	Filiforme	Non	Oui	22	Céréales brisées	Dispersée	Dispersée
Cucujide des grains	*Ahasverus advena*	Brun	2	Massue	Oui	Oui	21	Moisissures	Commun	Commun
Calandre des grains	*Sitophilus granarius*	Brun foncé, noir	3-4	Massue	Oui	Non	28	Grains de céréales	Dispersée	Rare
Ptine velu	*Ptinus villiger*	Brun	2-4	Filiforme	Oui	Non	58	Farine, aliments pour animaux	Dispersée	Dispersée
Petit perceur des céréales	*Rhyzoperthe dominica*	Brun foncé	2-3	Massue	Non	Oui	25	Grains de céréales	Rare	Rare
Psocidés	*Lepinotus reticulatus* *Liposcelis bostrychophilus*	Brun pâle	1	Filiforme	Oui Non	Oui	21	Moisissures	Commun	Commun
Tribolium rouge de la farine	*Tribolium castaneum*	Brun rougeâtre	2-4	Massue	Non	Oui	20	Céréales brisées, Farine	Commun	Commun
Charançon du riz	*Sitophilus oryzae*	Brun foncé, noir	3-4	Massue	Oui	Oui	24	Grains de céréales	Dispersée	Dispersée
Cucucjide roux	*Cryptolestes ferrugineus*	Brun rougeâtre	2	Filiforme	Non	Oui	21	Céréales brisées	Commun	Commun
Cucujide dentelé des grains	*Oryzaephilus surinamensis*	Brun	3	Massue	Oui	Oui	20	Céréales brisées	Dispersée	Dispersée
Ténébrion meunier	*Tenebrio molitor*	Brun, noir	12-17	Filiforme	Non	Rarement	120	Grains moisis	Commun	Commun

Dispersée = Présence régulière mais infestations localisées
Rare = Rencontrée occasionnellement seulement

Tableau 3. Lépidoptères infestant les denrées entreposées au Canada

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Coloration de l'adulte	Longueur de l'adulte (mm)	Antennes	Capable de grimper sur une paroi en verre	Capable de voler	Développement œuf-adulte le plus rapide	Nourriture	Présence dans l'est du Canada	Présence dans l'ouest du Canada
Teigne des semences seulement	*Hofmannophila pseudospretella*	Brun	8-11	Filiforme	OuiLarve	Oui	365	Produits céréaliers, marchandises sèches	Oui	Ports de la C.-B.
Pyrale indienne de la farine	*Plodia interpunctella*	Crème et brun	8-10	Filiforme	OuiLarve	Oui	25	Produits céréaliers, fruits secs, marchandises sèches	Commun	Commun
Pyrale de la farine	*Pyralis farinalis*	Brun et havane	15-20	Filiforme	OuiLarve	Oui	42	Grains moisis, marchandises sèches	Ports	Ports
Pyrale méditerranéenne de la farine	*Ephestia kuehniella*	Gris et noir	10-15	Filiforme	OuiLarve	Oui	30	Farine	Rare	Rare
	Endrosis sarcitrella	Blanc	8-11	Filiforme	OuiLarve	Oui	24	Produits céréaliers, marchandises sèches	Ports	Ports

Tableau 4. Acariens infestant les denrées entreposées au Canada

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Coloration de l'adulte	Longueur de l'adulte (mm)	Antennes	Capable de grimper sur une paroi en verre	Capable de voler	Développement œuf-adulte le plus rapide	Nourriture	Présence dans l'est du Canada	Présence dans l'ouest du Canada
	Cheyletus eruditus	Blanc	0,4-0,6	-	Oui	Non	19	Acariens, œufs d'insectes	Commun	Commun
Tarsonème des grains	*Tarsonemus granarius*	Orange, jaune	0,1-0,2	-	Oui	Non	5	Moisissures	Commun	Commun
Ciron de la farine	*Acarus siro*	Blanc, havane	0,3-0,6	-	Oui	Non	14	Germe de grains de céréales	Commun	Commun
	Lepidoglyphus destructor	Blanc	0,3-0,5	-	Oui	Non	19	Céréales, moisissures	Commun	Commun
Ciron des champignons	*Typophagus putrescentiae*	Blanc	0,3-0,5	-	Oui	Non	9	Moisissures	Commun	Commun

champignons microscopiques (moisissures) dont il se nourrit également. Le grain gravement infesté est altéré et devient impropre à l'alimentation animale. Les bovins laitiers et d'autres animaux de la ferme peuvent souffrir de troubles gastriques et d'autres symptômes après avoir ingéré des aliments infestés. L'adulte mesure 0,3 à 0,6 mm de longueur, la femelle étant plus grosse que le mâle. Le corps est blanc perle à brun jaune, lisse et luisant, et son extrémité postérieure porte quatre longs poils. Les populations peuvent augmenter de 700 % en l'espace d'une semaine dans les céréales et oléagineux entreposés, particulièrement en automne. Les femelles peuvent pondre environ 500 œufs au cours de leur vie de 42 jours. À 20 °C et à 14 % d'humidité, le cycle vital de l'œuf à l'adulte est bouclé en 14 jours. Les adultes et tous les stades immatures, à l'exception de la deutonymphe hypope, périssent en l'espace d'environ une semaine lorsqu'ils sont exposés à la température de -18 °C. Les œufs peuvent survivre environ 12 jours à - 10 °C ou 2 à 3 mois à 0 °C.

Lepidoglyphus destructor Cet acarien (figure 12*D*) est l'espèce la plus commune dans les denrées entreposées. Il est résistant au froid et peut vivre dans les céréales et oléagineux tant secs que gourds. Il se déplace rapidement par mouvements saccadés et se nourrit de grains brisés, de poussières de grains et de champignons microscopiques. L'adulte est blanc et mesure 0,3 à 0,5 mm de longueur. Il porte de nombreux poils raides plus longs que le corps. Dans les greniers de ferme, les infestations chroniques surviennent généralement entre juin et novembre. Cet acarien peut survivre plus de 7 jours à -18 °C.

Cheyletus eruditus Cet acarien (figure 11*A*) se nourrit d'individus de sa propre espèce, de cirons de la farine, de *Lepidoglyphus destructor* et d'œufs et de larves d'insectes. Comme il n'est pas assez abondant pour éliminer les acariens ravageurs des céréales ou des oléagineux, il n'est pas très utile comme agent de lutte biologique contre les acariens granivores. Il a le corps en forme de losange, blanc avec une ligne longitudinale blanc crayeux s'étendant sur tout le corps, et il mesure 0,4 à 0,6 mm de longueur. La bouche est entourée d'appendices préhensiles en forme de pinces. Les pattes sont longues. Cet acarien est actif durant toute l'année dans les céréales entreposées, mais ses effectifs sont généralement modestes. Dans la plupart des céréales et oléagineux gourds, il peut se reproduire entre 12 et 27 °C.

Tarsonème des grains Cet acarien mycophage (figure 12*E,F*) est fréquemment observé dans les vieux stocks de céréales et d'oléagineux entreposés à la ferme. En présence de conditions optimales (30 °C et humidité de 17 %), le développement de l'oeuf à l'adulte est bouclé en 7 jours. Comme il se nourrit de certaines moisissures, sa présence est le signe d'une dégradation du grain. L'adulte est blanc clair et

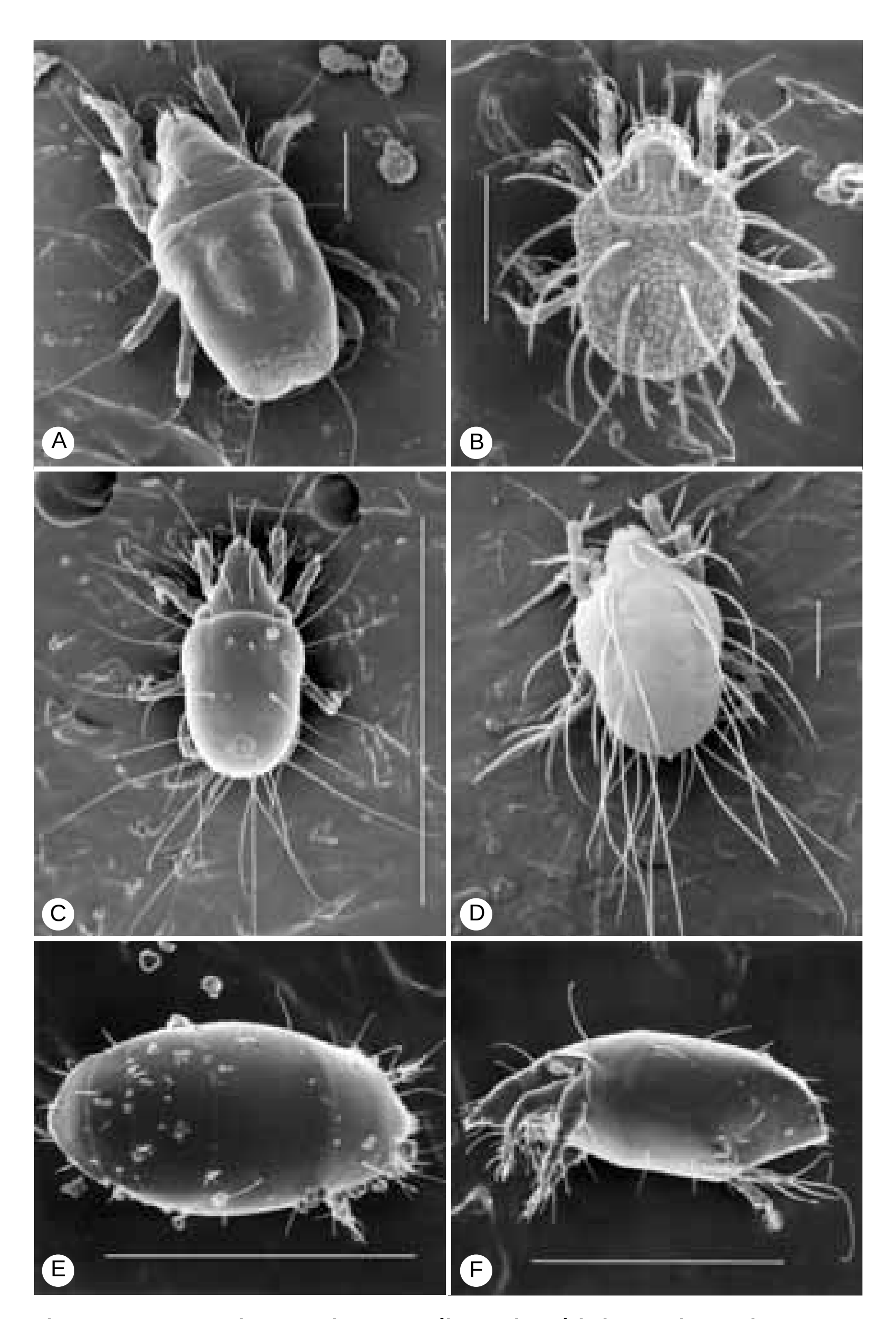


Figure 12. Images prises au microscope électronique à balayage de certains acariens causant des dommages importants aux denrées entreposées : *A.* Ciron de la farine; *B. Aeroglyphus robustus; C.* Ciron des champignons*; D. Lepidoglyphus destructor*; *E.* Tarsonème des grains femelle, vu d'en haut; *F.* Même spécimen, vu de côté (la barre sur chaque photographie représente 0,1 mm).

mesure moins de 0,2 mm de longueur. Il peut survivre environ 17 jours lorsqu'il est exposé à une température de 30 °C et à une humidité relative de 90 %.

Moisissures de conservation

Ces organismes se présentent surtout sous la forme de spores dans le sol et dans la matière végétale en décomposition. Ces spores contaminent les céréales et les oléagineux en faibles nombres au moment de la récolte.

Quand le grain est peu humide, les moisissures de conservation sont habituellement inactives. Toutefois, lorsque l'humidité s'élève, comme dans le grain gourd, humide ou accidentellement mouillé, la germination des spores s'enclenche. Plusieurs espèces des genres *Aspergillus* et *Penicillium* se rencontrent sur les grains. Chaque espèce de moisissure exige des conditions d'humidité et de température particulières pour germer et croître et se développe selon une séquence définie. La première espèce décompose les substances nutritives du grain grâce à son activité enzymatique et produit ainsi l'humidité nécessaire à la germination des autres moisissures.

Les moisissures de conservation peuvent diminuer la qualité des céréales et des oléagineux en provoquant l'échauffement et la dégradation ou le tassement ou l'agglomération des grains, en réduisant leur faculté germinative et en produisant des mauvaises odeurs et des mycotoxines. Pour de plus amples renseignements sur les moisissures et leurs effets sur les denrées entreposées, consulter *Storage of cereal grains and their products*, 4e édition, chapitre 9 (Sauer, 1992). Les spores microscopiques des moisissures provoquent diverses affections humaines et animales, telle la maladie du poumon de fermier et des allergies.

Mycotoxines

Les mycotoxines sont des substances naturelles produites par les champignons qui sont toxiques pour les humains et la plupart des animaux de la ferme. Ces toxines sont présentes dans les aliments à base de grain pour animaux, les denrées alimentaires et les poussières. Les *Aspergillus* et *Penicillium* qui se développent dans les céréales entreposées commencent à en produire après huit semaines si les conditions de température et d'humidité sont favorables. Les mycotoxines sont présentes dans toutes les régions du Canada où l'on entrepose du grain.

Bien qu'elles soient extrêmement toxiques à l'état pur, les mycotoxines ne sont habituellement pas présentes dans le grain sec, à moins que ce dernier ait été mouillé accidentellement. Les trousses modernes de détection utilisant le principe du dosage immunoenzymatique permettent de détecter facilement la présence des mycotoxines, même lorsque celles-ci sont présentes en faibles concentrations (habituellement de l'ordre de quelques parties par million). Même à de telles concentrations, les mycotoxines présentes dans les aliments pour animaux

peuvent présenter une menace pour la santé des animaux de ferme, réduire le rendement des élevages et provoquer une mortalité accrue. Les producteurs qui soupçonnent une intoxication par les mycotoxines devraient faire analyser des échantillons d'aliments pour animaux et consulter leur vétérinaire.

Les mycotoxines sont habituellement produites lorsque des grains de céréales entreposés sont contaminés par des moisissures des genres *Penicillium* et *Aspergillus*. Cette contamination peut résulter d'un entreposage incorrect ou d'une humidification accidentelle causée par un suintement ou la condensation. Des mycotoxines bien précises ont été identifiées lors d'essais d'entreposage sur du grain humide. La présence d'ochratoxine et de citrinine est habituellement décelée dans des lots de céréales contaminés par *Penicillium*, tandis que celle de la stérigmatocystine s'observe dans les lots gravement infestés par l'*Aspergillus versicolor*. Le risque que ces toxines soient produites à des concentrations potentiellement nocives pour le bétail dépend du type de culture :

- risque faible : avoine, blé roux vitreux de printemps, blé à teneur moyenne en protéines, orge à deux rangs;
- risque modéré : maïs, orge à six rangs, orge à grain nu;
- risque élevé : blé ambré dur.

Bien que les aflatoxines soient des contaminants bien connus des céréales et des oléagineux en provenance des pays tropicaux et des États-Unis, des enquêtes menées au Canada ont révélé que ces toxines ne sont pas présentes au pays.

Durant les étés pluvieux, d'autres moisissures peuvent causer des problèmes avant la récolte et l'entreposage. Des champignons du type *Fusarium* peuvent infecter le blé et l'orge sur pied et provoquer une maladie appelée fusariose de l'épi. Les plants atteints produisent des grains ratatinés blancs ou roses. La mycotoxine la plus fréquemment observée est le désoxynivalénol, mais d'autres mycotoxines plus puissantes produites par des *Fusarium* peuvent également être présentes. La détection du désoxynivalénol est facile avec les trousses modernes utilisant le principe du dosage immunoenzymatique. Le porc est affecté par la présence de seulement quelques parties par million de désoxynivalénol dans ses aliments, mais les autres animaux résistent remarquablement bien à cette mycotoxine. Les *Fusarium* réduisent également le rendement et la qualité des céréales et compromettent la valeur boulangère du blé et la qualité brassicole de l'orge, mais elles ont besoin d'une humidité très élevée pour croître et elles ne se développement généralement pas dans les récoltes entreposées. Pour de plus amples renseignements sur les mycotoxines, consulter *Mycotoxins in agriculture and food safety* (Sinha et Bhatnagar,1998).

Lutte contre les infestations

Pour empêcher les ravageurs de se propager à d'autres entrepôts de grains, il faut réprimer les infestations dès qu'elles sont détectées. Le choix de la méthode de lutte dépend de l'état du grain, de la température au centre de la masse, des espèces d'insectes ou d'acariens en cause et de la période de l'année.

Refroidissement et purification du grain

Une méthode de lutte efficace contre les insectes en hiver consiste à abaisser la température du grain. À cette fin, on peut soit mélanger et transférer le grain infesté dans un autre entrepôt pour abaisser sa température à environ 10 °C, soit transborder une partie de la récolte dans un camion ou la répartir en petits tas à l'extérieur afin de l'exposer aux basses températures hivernales pendant une ou plusieurs journées avant de la retourner à l'intérieur. Toutefois, la ventilation donne habituellement de bien meilleurs résultats. Les insectes ne se développent pas et ne se nourrissent pas à des températures inférieures à 10 °C. En bas de 0 °C, ils finissent par mourir. Pour sa part, le cucujide roux meurt :

- après 1 semaine lorsque la température du grain est abaissée à -20 °C;
- après 4 semaines lorsque la température du grain est abaissée à -15 °C;
- après 8 semaines lorsque la température du grain est abaissée à -10 °C;
- après 12 semaines lorsque la température du grain est abaissée à -5 °C.

Comme le cucujide roux est l'espèce la plus résistante au froid, les combinaisons de température et de durée d'exposition présentées ci-haut permettront d'éliminer la plupart des autres insectes associés aux céréales et oléagineux entreposés. Il convient toutefois de noter que les basses températures indiquées ci-haut ne tuent ni les champignons, ni les acariens.

La purification du grain permet également de réprimer les infestations. Pour combattre les infestations en surface causées par les lépidoptères, les acariens et les ptines, il faut éliminer et détruire les portions infestées et agglutinées par des toiles, passer un râteau à la surface de la masse afin de briser les croûtes qui pourraient s'y être formées et assécher la masse de grain.

Équipement pneumatique pour la manutention du grain La plupart des insectes menant une existence libre aux stades adulte et larvaire peuvent être éliminés durant le déchargement des cellules à l'aide d'un « grain-vac ». Les insectes sont tués par le contact abrasif et l'impact occasionné par le passage du grain à travers le tube de déchargement. Ce traitement est encore plus efficace si le tube de déchargement est coudé à 90 degrés, car les insectes percutent alors les parois du tube plus violemment.

Terre de diatomées L'utilisation d'une poudre non toxique composée de restes de diatomées préhistoriques donne de bons résultats contre le cucujide roux.

Au contact de cette poudre, la couche cireuse qui recouvre les téguments de l'insecte est absorbée, condamnant le cucujide à une mort par déshydratation. L'application de la terre de diatomées sur le grain peut être effectuée au moment du chargement de la cellule, mais elle est plus efficace si elle est réalisée sur le grain sec au moment de la récolte. Il peut s'écouler jusqu'à cinq ou six semaines avant que le traitement donne des résultats.

Pour éliminer les insectes qui vivent dans les résidus dans les entrepôts vides, il faut utiliser uniquement un insecticide approuvé à cette fin et prendre les précautions qui s'imposent durant la manutention et l'application du produit. Les insecticides homologués sont choisis en grande partie en fonction des critères suivants :

- leur toxicité est faible pour les mammifères, mais élevée pour les insectes;
- ils ne provoquent ni la détérioration des aliments, ni l'apparition d'odeur;
- leurs effets sur l'environnement ne persistent pas;
- leur application est sûre, économique et facile;
- ils laissent peu de résidus ou de substances toxiques dans les aliments.

Certains insecticides sont plus efficaces que d'autres et agissent sur une période plus longue. Le malathion de qualité supérieure, la cyfluthrine, le pyrèthre avec du pipéronyl butoxyde et la terre de diatomées sont actuellement les insecticides homologués pour le traitement des cellules vides. Pour la protection prolongée des céréales entreposées, l'ajout de malathion de qualité supérieure ou de terre de diatomées se révèle efficace.

Comme les formulations liquides ou en poudre d'insecticides n'agissent que par contact et ne pénètrent pas dans les tas de grains ou de poussière laissés sur le sol, il faut éliminer tous les résidus présents dans les entrepôts *avant* d'appliquer l'insecticide choisi.

Après avoir dissous le concentré émulsifiable de malathion dans de l'eau propre, il faut appliquer sans tarder l'émulsion laiteuse obtenue sur les surfaces métalliques et le bois afin d'éviter la séparation de l'émulsion. Les concentrés émulsifiables se dégradent rapidement sur les surfaces en béton, mais elles demeurent efficaces pendant jusqu'à un an sur les structures en bois ou en acier. Il ne faut jamais pulvériser ces produits près des interrupteurs ou des boîtes à fusibles.

Les poudres mouillables peuvent être pulvérisées sur le béton, la brique, le métal ou le bois (figure 13*B*). Il faut mélanger la poudre mouillable de malathion avec de l'eau propre dans un récipient séparé avant de remplir le pulvérisateur. Les poudres mouillables laissent de petites taches blanches sur les surfaces peintes.

Par temps froid, les solutions huileuses d'insecticides doivent être préférées aux bouillies à base d'eau parce qu'elles ne gèlent pas. Pour les préparer, on peut mélanger l'insecticide à du kérosène désodorisé conformément aux instructions figurant sur l'étiquette. Ces solutions peuvent être appliquées près des interrup-

teurs. Les surfaces ligneuses ou métalliques peuvent être traitées et les cellules vides soumises à une nébulisation. Toutefois, l'application d'une solution huileuse sur les surfaces en plastique ou en caoutchouc est à éviter.

Traitements insecticides

> *Mise en garde :* Au Canada, la résistance aux insecticides (en particulier au malathion) est observée de plus en plus fréquemment parmi les insectes associées aux denrées entreposés, en particulier chez la pyrale indienne de la farine dans le centre du Canada et chez le tribolium rouge de la farine, le tribolium brun de la farine et le cucujide roux dans la majeure partie du pays. L'usage répété d'un même type d'insecticide au même endroit accroît le risque de résistance chez l'insecte cible. Il convient donc de recourir à plus d'une méthode de lutte et de prévention et *d'utiliser un insecticide uniquement dans les cas où c'est absolument nécessaire.*

Pour lutter contre les insectes qui se cachent sous le plancher ou derrière les murs, il est préférable d'utiliser des poudres insecticides, car ces endroits sont difficiles à traiter avec des préparations liquides. Ces poudres se présentent habituellement sous la forme de farine de blé traitée enduite d'une formulation de malathion. Pour appliquer ce type de préparation, on peut utiliser une poudreuse ou balayer la poudre dans les fissures du plancher.

Les oléagineux absorbent les insecticides de contact des surfaces traitées. Par conséquent, on évitera de traiter les cellules destinées à leur entreposage. Si l'entrepôt est infesté, la marche à suivre consiste à balayer minutieusement toutes les surfaces, à détruire les balayures et à appliquer des quantités modérées d'insecticide de contact uniquement à la jonction du plancher et des murs.

Si des insectes ravageurs des denrées entreposées sont visibles sur les murs extérieurs de l'entrepôt, il faut traiter les murs et le sol autour de l'entrepôt. Même si ces insectes ne sont pas facilement visibles, il est plus prudent de traiter non seulement le grain répandu sur le sol, mais aussi les abords de l'entrepôt et le dessous des entrepôts surélevés.

> **Précautions à prendre durant l'application d'un insecticide**
>
> - Lire le mode d'emploi sur l'étiquette et s'y conformer.
> - Vérifier le pulvérisateur et les tuyaux afin de détecter la présence éventuelle de fuites.
> - Éviter de renverser de l'insecticide.
> - Porter un masque protecteur muni des filtres approuvés durant le traitement d'enceintes closes comme les entrepôts vides.
> - Porter des vêtements protecteurs, un casque dur, des lunettes de sécurité, des bottes de travail en caoutchouc et des gants de caoutchouc durant le mélange et la pulvérisation.

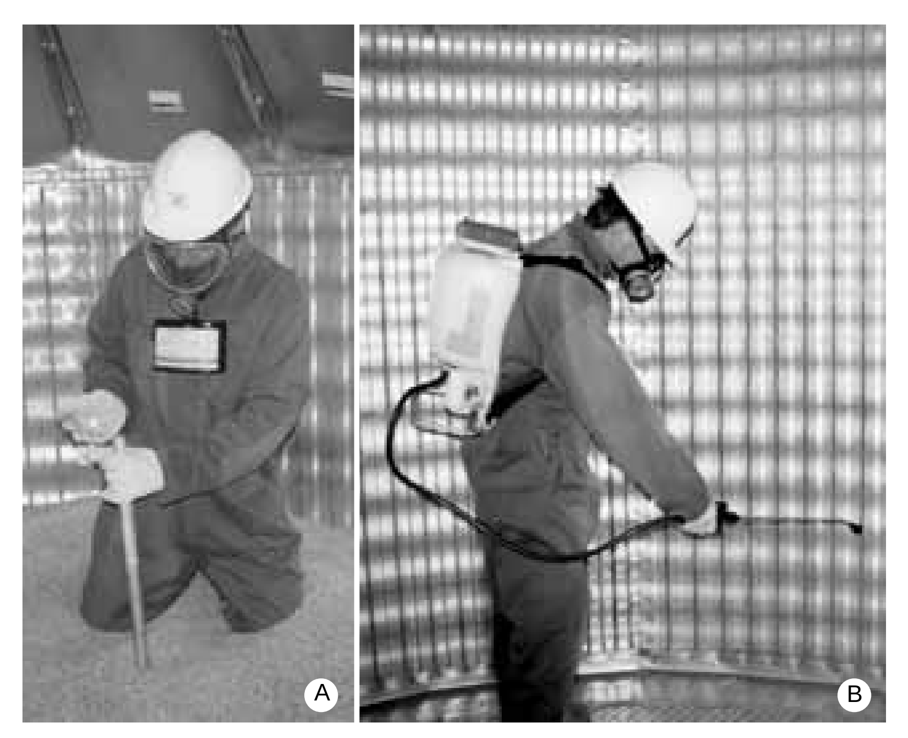


Figure 13. ***A.*** **Traitement du grain au moyen de comprimés de fumigant;** ***B.*** **Traitement d'un entrepôt vide avec un insecticide de contact. Tel qu'on peut le voir sur les deux photographies, l'opérateur doit porter un masque à gaz recouvrant entièrement le visage, des gants de caoutchouc, une combinaison appropriée et un casque dur.**

Utilisation de concentrés

Le volume d'eau requis pour diluer les concentrés émulsifiables ou les poudres mouillables dépend de la quantité d'insecticide dans le concentré et de la dose recommandée contre le ravageur. L'exemple suivant montre comment calculer le volume d'eau à ajouter à un concentré émulsifiable à 50 % pour obtenir une bouillie de pulvérisation de malathion à 1 % :

$$(50 - 1)/1 = 49/1 = 49$$

Par conséquent, il faut ajouter une partie (0,1 L) d'une émulsion à 50 % à 49 parties (4,9 L) d'eau pour obtenir une bouillie de pulvérisation à 1 %.

L'utilisation d'une bouillie de pulvérisation de malathion à 1 % est recommandée pour la lutte contre le cucujide roux dans les entrepôts vides. La bouillie doit être appliquée uniformément à raison de 5 L par 100 m^2 à l'aide d'un pulvérisateur portatif à air comprimé pourvu d'une buse à orifice de 0,4 mm (concentrés émulsifiables ou solutions huileuses) ou de 0,8 à 1,2 mm (poudres mouillables) de diamètre.

Traitement des grains

Ce traitement ne saurait remplacer les bonnes pratiques d'entretien. Toutefois, des formulations spéciales de malathion de qualité supérieure existent pour le traitement durable des céréales (8 mois à 1 an) contre les insectes au moment de l'entreposage. Ces formulations peuvent être pulvérisées sur le grain ou mélangées au grain sous la forme d'une poudre composée de farine de blé traitée, à des doses variant selon le débit du grain dans la vis à grain.

Mode d'emploi Si la dose d'insecticide appliquée est supérieure à la dose recommandée, le prix de vente du grain risque d'être réduit par l'odeur de produit chimique qui s'en dégagera. Le grain traité ne doit pas être vendu dans les 7 jours suivant son traitement ni offert comme aliment aux animaux dans les 60 jours suivant l'application.

Pour le traitement du grain, la dose recommandée de malathion de qualité supérieure à 1 % s'établit à 0,8 L/t de blé. Le tableau 5 précise les quantités et doses de malathion à utiliser à cette fin. Le traitement confère une bonne protection contre les insectes, mais le grain devrait être entreposé dans de bonnes conditions et renfermer moins de 14 % d'eau, sinon l'insecticide se dégradera rapidement et son activité résiduelle diminuera.

Fumigation

Les fumigants produisent des gaz qui sont toxiques pour les insectes du grain entreposé. Seules les formulations solides sont homologuées pour usage agricole. Comme ces produits sont également toxiques pour les humains et les animaux, leur utilisation devrait être confiée uniquement aux personnes qui ont reçu une formation appropriée. Il faut éviter d'inhaler les vapeurs et suivre le mode d'emploi inscrit sur l'étiquette (voir la section Précautions à prendre durant la fumigation). Le CO_2 est homologué pour la fumigation du grain, mais les cellules doivent alors être parfaitement étanches. Les trémies faites de pièces d'acier soudées peuvent être rendues étanches au coût d'environ 300,00 $. Le coût de la fumigation à la glace sèche (CO_2) est comparable à celui du traitement à la phosphine, mais les résultats sont plus longs à venir.

Le phosphure d'aluminium solide peut également être utilisé comme fumigant mais, comme il libère de la phosphine au contact de l'humidité atmosphérique, son emploi ne devrait être envisagé que dans les circonstances suivantes :

- l'application est réalisée par un opérateur compétent détenant un permis approprié.
- la température du grain est d'au moins 10 °C. Les fumigants atteignent leur efficacité maximale lorsque la température est supérieure à 20 °C. Si la tem-

pérature du grain est inférieure à 5 °C, la fumigation est contre-indiquée, et il est préférable de refroidir le grain en le transportant dans une autre cellule ou en le ventilant pour réduire l'ampleur de l'infestation.

- le grain infesté est entreposé dans une cellule qui peut être étanchéifiée par obturation des fissures, crevasses et autres ouvertures de manière à ce qu'elle retienne le gaz pendant au moins 5 jours.
- il faut combattre l'infestation rapidement avant de vendre le grain.
- l'opérateur dispose d'un équipement de sécurité approprié en bon état (masque à gaz couvrant tout le visage, gants en caoutchouc et vêtements protecteurs et cartouche filtrante recommandée pour la phosphine).
- Des tubes détecteurs de gaz ou d'autres matériel de détection sont disponibles.

Tableau 5. Quantité et dose de malathion de qualité supérieure requises pour le traitement du grain. [1]

Débit (blé)		Dose (pulvérisation à 1 %)	
t/h	t/min	L/h	L/min
3	0,05	2,4	0,04
6	0,10	4,8	0,08
9	0,15	7,2	0,12
12	0,20	9,6	0,16
15	0,25	12,0	0,20

[1] La Commission canadienne des grains ne recommande pas l'application de traitements protecteurs pour les raisons suivantes :
- les insectes pourraient ne pas causer de problèmes;
- d'autres mesures de lutte comme la ventilation ou le déplacement du grain sont préférables;
- les traitements occasionnent l'accumulation de résidus chimiques dans le grain.

Application

Au moment de calculer la dose de fumigant à appliquer en considération de la capacité de la cellule, il faut tenir compte de l'espace libre au-dessus du grain entreposé. Il importe d'utiliser le nombre de comprimés ou de pastilles recommandé par le fabricant. Les comprimés de fumigant solide (phosphure d'aluminium ou de magnésium) peuvent être ajoutés au moment du déchargement du grain dans la cellule étanchéifiée par une vis à grain ou enfoncés à intervalles réguliers dans la masse une fois la cellule remplie. Pour le traitement des cellules d'une capacité d'environ 27 tonnes, il faut laisser tomber les comprimés de fumigant par des tuyaux en métal enfoncés dans le grain (figure 13*A*). À cette fin, il faut d'abord choisir une douzaine de points répartis également à la surface du grain et les jalonner avec des piquets de bois, puis enfoncer un tuyau de 3 cm de diamètre et de 1,5 m de longueur à chaque point pour ensuite y laisser tomber un comprimé

de fumigant à tous les 15 cm à mesure que le tuyau est retiré. Le traitement doit être amorcé dans la partie la plus éloignée de la porte de la cellule. Avant de fermer la cellule, il faut insérer quelques comprimés dans l'orifice de la vis à grain.

Dans les cellules dont le sommet ne peut être étanchéifié, il faut recouvrir le grain d'une pellicule de polyéthylène afin de réduire la perte de fumigant et d'accroître l'efficacité du traitement.

Légumineuses à grain

Insectes

Les insectes causent rarement des dégâts aux légumineuses à grain entreposées. Seules les bruches, de la famille des Bruchidés, peuvent infester les graines au champ et continuer de se multiplier pendant l'entreposage [*Bruchus brachialis* F., la bruche des vesces (F.); *Bruchus pisorum* (L.), la bruche du pois (F.); *Bruchus rufimanus* Boh., la bruche de la gourgane (F.) et *Acanthoscelides obtectus* (Say), la bruche du haricot (F.)].

Féverole (*Vicia faba* L.)

Risque relatif de dégâts associés à l'entreposage : faible

Normes de teneur en eau :

Grain sec :	jusqu'à 16,0 %
Grain gourd :	de 16,1 % à 18,0 %
Grain humide :	plus de 18,0 %

Directives d'entreposage La teneur en eau maximale recommandée pour l'entreposage des féveroles est de 16 % au Canada et de 15 % en Grande-Bretagne. Au Manitoba, des féveroles ayant une teneur en eau de 14,2 % et n'ayant pas subi de dégâts par le gel ont été stockées pendant deux ans sans subir de dommages. Des grains de piètre qualité endommagés par le gel qui avaient été entreposés l'hiver à plus de 15 % d'humidité ont souvent subi des dommages par échauffement l'été qui a suivi.

Directives de séchage Il est recommandé de sécher les grains à une température ne dépassant pas 32 °C. Le séchage devrait se faire en deux étapes si l'on doit réduire la teneur en eau d'au moins 5 % pour atteindre 16 % de teneur en eau en entrepôt. Laisser passer quelques jours entre chaque étape afin de permettre à l'humidité interne du grain de migrer à la périphérie. Il ne faut pas sécher les grains rapidement à des températures élevées, car les grains peuvent fendre et perdre leur pouvoir germinatif. Les grains peuvent aussi devenir surséchés à la périphérie et sous-séchés à l'intérieur. Des grains sous-séchés deviennent

Précautions à prendre durant la fumigation

Lorsqu'on utilise un fumigant, il faut respecter à la lettre les instructions inscrites sur l'étiquette et prendre les précautions suivantes :

- Toujours porter un masque à gaz couvrant tout le visage durant la fumigation, que le grain soit déjà entreposé dans une cellule ou qu'il soit en train d'y être déchargé, ou lorsqu'on pénètre dans une cellule ayant été fumigée. Les respirateurs sont inefficaces chez les hommes portant la barbe, car ils ne procurent pas un joint étanche autour du visage.
- Avant le début du traitement, toujours introduire un nouvelle cartouche filtrante dans le masque à gaz. Utiliser le type recommandé pour la phosphine. Cette cartouche *ne* protège *pas* contre les fortes concentrations à l'intérieur des bâtiments (plus de 2 % dans l'air) et *ne* fournit *pas* d'oxygène.
- Ne jamais travailler seul.
- Porter des gants secs en coton ou en un autre matériel imperrespirant. Aérer les gants utilisés et les autres vêtement protecteurs contaminés dans une enceinte bien ventilée avant de les laver.
- Porter une combinaison et un casque dur.
- Transporter à l'air frais toute personne présentant des symptômes de surexposition à un fumigant (étourdissement, vision trouble, vomissements et douleurs abdominales) et appeler immédiatement un médecin.
- Après l'application du fumigant, clouer ou cadenasser les portes, sceller les ventilateurs et apposer un avis sur la porte.
- Ventiler les enceintes fumigées jusqu'à ce que la concentration de phosphure d'hydrogène soit redescendue à 0,3 ppm ou moins avant d'autoriser à y pénétrer les travailleurs ne portant aucun équipement de protection. Comme la ventilation du grain traité peut prendre plusieurs semaines par temps froid, vérifier à partir de l'extérieur de la cellule et à l'aide de tubes détecteurs s'il reste du gaz avant de pénétrer et de demeurer dans la cellule pendant une période prolongée.
- *Ne pas* nourrir le bétail de grain traité à moins d'avoir démontré, à l'aide de tubes détecteurs ou d'autres analyses, que ce grain est exempt de gaz.
- Toujours tenir compte de la direction du vent. Si une habitation ou des animaux se trouvent à proximité de la structure à traiter et que le vent souffle dans cette direction, reporter la fumigation jusqu'à ce que le vent soit tombé ou ait changé de direction.
- *Ne pas* effectuer de fumigation par temps très venteux.
- Par mesure de prudence, toujours se tenir contre le vent durant l'application du fumigant pendant le remplissage de la cellule. Éviter de se tenir face au vent quand une cellule est en cours de fumigation.
- La phosphine peut réagir avec certains métaux, notamment le cuivre, le laiton, l'argent et l'or, et provoquer leur corrosion en présence de conditions de température et d'humidité élevées. Enlever ou protéger le matériel comportant des composantes contenant de tels métaux (moteurs électriques, filage et systèmes électroniques).

pâteux et, lors d'un entreposage prolongé, rancissent et s'échauffent. Lorsque la température de séchage dépasse 40 °C, la peau du grain se ratatine ou se fissure, surtout celle des grains très humides. Il faut empêcher que le grain ne se fissure, car cela crée une porte d'entrée pour les microorganismes qui entraînent une détérioration du grain.

Facteurs de déclassement Les féveroles sont déclassées lorsqu'elles contiennent des grains échauffés et/ou pourris ou qu'elles dégagent une nette odeur d'échauffement ou de moisi. L'intégrité du grain est également un facteur de classement. Les féveroles sont classées *Échantillon* lorsqu'elles contiennent plus de 1 % de grains chauffés et/ou pourris ou qu'elles dégagent une nette odeur d'échauffement ou de moisi.

Aspect des grains échauffés et moisis Les grains échauffés et/ou pourris ont une coloration anormale. Le tégument du grain varie de brun foncé à noir tandis que les cotylédons, sur des grains disséqués, sont havane ou bruns.

Problèmes d'entreposage La récolte se fait normalement lorsque la gousse est noire et le pédoncule ratatiné. La perte d'eau étant lente dans le cas des légumineuses à gousses épaisses et charnues et à grosses graines, une période plus longue de mûrissement et de séchage peut être exigée avant le moissonnage-battage, en particulier dans les climats froids. Les graines contenues dans les gousses situées dans la partie supérieure du plant sont immatures lorsque la récolte se fait trop tôt. Ces mêmes graines ont aussi une teneur en eau plus élevée que celles des gousses situées plus bas. En raison des problèmes liés à une période de mûrissement prolongée, à une récolte tardive, aux dégâts par le gel et à une période de séchage prolongée, il est fréquent que les féveroles qui sont mises en cellules ne soient pas uniformes et qu'il faille par conséquent les surveiller attentivement pendant la période d'entreposage.

Haricots (*Phaseolus vulgaris* L.)

Cette espèce de légumineuse comprend, entre autres, le petit haricot blanc, aussi connu sous le nom de « fève blanche » (production la plus importante), le haricot rouge clair et le haricot rouge foncé, le haricot noir, le haricot pinto, le haricot rose, le petit haricot rouge, le haricot blanc Great Northern, le haricot à oeil jaune et le haricot canneberge.

Risque relatif de dégâts associés à l'entreposage : faible

Normes de teneur en eau :

Grain sec :	aucune
Grain gourd :	aucune
Grain humide :	plus de 18,0 %

Directives d'entreposage Une teneur en eau de 18 % ou moins est recommandée pour l'entreposage des haricots. Si l'on veut les stocker à long terme et s'en servir comme semences, une teneur en eau de 18 % est trop élevée, même à une température de 5 °C (tableau 6). Pour les stocker jusqu'à un an, il est recommandé d'amener la teneur en eau à au plus 17 %. Les haricots doivent être récoltés une fois les gousses sèches et le grain durci, mais avant le début de l'égrenage. Idéalement, la teneur en eau des haricots doit être entre 16 % et 18 % au moment du moissonnage-battage. Si elle est plus basse, les dégâts peuvent être importants et entraîner des pertes financières, puisque les grains cassés ou fissurés peuvent servir seulement d'aliments pour le bétail.

Directives de séchage Le séchage est essentiel lorsque les haricots sont récoltés au stade humide en raison de la mauvaise température ou pour éviter des pertes excessives dues à l'égrenage. La température maximale pour le séchage des grains se situe entre 27 °C et 32 °C. Le séchage doit se faire lentement et, au besoin, en deux étapes pour éliminer l'excès d'humidité (voir féverole). Une attention particulière doit être apportée au séchage, car les grains peuvent fendre, même à des températures relativement basses. Les fissures constituent un facteur de déclassement et elles augmentent à des températures élevées. Durant le séchage, il faut garder l'humidité relative de l'air chauffé au-dessus de 40 %.

Facteurs de déclassement Les haricots sont déclassés lorsqu'ils contiennent des grains échauffés ou moisis ou qu'ils ont une odeur d'échauffement ou une nette odeur de moisi. Les haricots sont classés *Échantillon* lorsqu'ils contiennent plus de 1 % de grains échauffés ou qu'ils dégagent une odeur d'échauffement ou une nette odeur de moisi, ou lorsqu'ils contiennent plus de 1 % de grains moisis. Les grains moisis sont caractérisés par la présence de moisissures bleu foncé à l'extérieur du grain, qui se développent dans les fissures des grains endommagés par les machines, ou de moisissures variant du jaune au noir à l'intérieur du grain, qui se développent dans la région centrale concave, commune au haricot rouge clair et au haricot rouge foncé.

Aspect des grains échauffés Les petits haricots blancs échauffés ont un tégument de couleur terne allant de crème à acajou. La couleur devient plus intense dans la région du hile. En coupe transversale, la couleur des cotylédons varie de havane à brun foncé. Les cotylédons de couleur très pâle sont classés comme des grains

endommagés plutôt que comme des grains échauffés. Dans le cas des haricots rouge clair et des haricots rouge foncé qui sont échauffés, le tégument est d'une couleur terne, variant de rouge foncé à noir. Il faut fendre les haricots pour déterminer le degré et l'intensité des dégâts causés par la chaleur.

Problèmes d'entreposage Les dommages dus à la manutention mécanique des grains est un problème qui s'accentue lorsque la température et le taux d'humidité sont bas. Pour réduire les dommages, il faut utiliser, dans toute la mesure du possible, des transporteurs à courroie ou des chargeurs à benne frontale plutôt que des vis à grain. Il faut également éviter de laisser tomber les grains d'une hauteur excessive, en particulier sur un plancher de béton.

POIS (*Pisum sativum* var. *arvense* (L.) Poir.)

Risque relatif de dégâts associés à l'entreposage : faible

Normes de teneur en eau :

Grain sec :	jusqu'à 16,0 %
Grain gourd :	de 16,1 % à 18,0 %
Grain humide :	plus de 18,0 %

Directives d'entreposage Les pois doivent être récoltés lorsque les grains sont parvenus à maturité et qu'ils sont fermes à l'intérieur de la gousse. La récolte des cultivars à grain jaune commence lorsque les grains ont une teneur en eau de 16 %. Les cultivars à grain vert, eux, sont récoltés lorsqu'ils ont une teneur

Tableau 6. Nombre estimé de semaines jusqu'à la diminution du pouvoir germinatif des haricots bruns

Température d'entreposage (°C)	Teneur en eau (à l'état humide, en %)							
	11	12	13	14	16	18	20,5	23
	Période maximale pour un entreposage sûr (en semaines)							
25	31	22	16	11	7	4	2	0,5
20	55	40	28	19	13	7	3,5	1,5
15	100	75	50	30	20	12	6	3
10	200	140	95	60	38	20	11	4,5
5	370	270	170	110	70	39	20	9

en eau de 18 % ou plus afin de préserver leur couleur, puis, s'ils sont destinés à l'entreposage, ils sont séchés jusqu'à ce qu'ils atteignent une teneur en eau de 16 % ou moins.

Directives de séchage La température maximale de séchage est de 45 °C pour les grains destinés à servir de semences, de 70 °C pour ceux destinés à des utilisations commerciales et de 80 °C à 100 °C pour ceux destinés à l'alimentation des animaux. Une température au-dessus de 45 °C nuit au pouvoir germinatif des pois, surtout les pois verts.

Facteurs de déclassement Les pois sont classés *Échantillon* lorsqu'ils contiennent plus de 0,2 % de grains échauffés ou qu'ils ont une odeur d'échauffement ou de brûlé ou une nette odeur de moisi.

Aspect des grains échauffés Les pois échauffés ont un tégument de couleur terne et des cotylédons d'une couleur anormale allant de havane pâle à brun foncé.

Problèmes d'entreposage Pendant l'hiver, une croûte superficielle peut se former sur la couche supérieure des pois entreposés à une teneur en eau de 15 % à cause de la migration de l'humidité et de l'infiltration de la neige, surtout s'ils sont stockés à chaud et sans ventilation. Les grains ont tendance à s'agglutiner et, si on ne les remue pas, ils noircissent sous l'action des moisissures. Afin d'empêcher qu'ils ne s'agglutinent, il faut marcher périodiquement sur la couche supérieure de grains dans la cellule ou déplacer les premiers 30 cm de grains à l'aide d'une pelle.

Au printemps, avant de déplacer le premier chargement, il faut examiner la couche supérieure de grains. S'il y a une croûte noire, il faut l'enlever avec une pelle, sinon le premier chargement sera contaminé au moment du mélange. Ce genre de problème est particulièrement fréquent dans les cellules en acier qui sont trop remplies et aussi dans les bâtiments Quonset. Pour l'éviter, on utilise un chargeur à benne frontale pour diviser les grains et remuer les couches supérieures. Si des cellules à grains sont utilisées pour entreposer des pois, elles devront être renforcées, car, à cause de leur calibre et de leur forme, les pois exercent une plus grande pression latérale que le blé.

SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)

Risque relatif de dégâts associés à l'entreposage : modéré

Normes de teneur en eau :

Grain sec :	jusqu'à 14,0 %
Grain gourd :	de 14,1 % à 16,0 %
Grain humide :	de 16,1 % à 18,0 %
Grain mouillé :	de 18,1 % à 20,0 %
Grain trempé :	plus de 20,0 %

Dans le cas du soja, les teneurs en eau maximales permises pour les catégories (U.S.) 1, 2, 3 et 4 sont respectivement de 13, 14, 16 et 18 %.

Directives d'entreposage Par temps sec, à l'automne, la teneur en eau du soja parvenu à maturité passe de 15 % au lever du jour à 10 % le midi. Le soja se réhydrate de nouveau la nuit suivante, et le cycle recommence le lendemain. On peut récolter le soja lorsque sa teneur en eau est faible, mais cela entraîne un accroissement des pertes au champ et des dommages importants causés par la machinerie. On peut réduire ces pertes en récoltant le soja quand il contient plus d'eau, avant que les gousses soient complètement mûres, puis en le séchant jusqu'à ce qu'il atteigne une teneur en eau propice à l'entreposage.

Pour le soja destiné à des utilisations commerciales, une teneur en eau de 13 % et de 10 % convient pour des périodes de stockage allant respectivement jusqu'à un an et jusqu'à cinq ans. Ces pourcentages ne tiennent pas compte de facteurs comme l'accumulation de semences fines sous les goulottes. Pour une même température et une même teneur en eau, le soja s'entrepose moins bien que le maïs égrené; en effet, pour une humidité relative de 65 % et une température de 25° C, la teneur en eau du soja au point d'équilibre est de 2 % de moins que pour le maïs égrené.

Des moisissures de conservation peuvent se développer lentement dans le soja entreposé à des teneurs en eau variant entre 12 et 12,5 %; la vitesse de développement augmente quand la teneur en eau dépasse ce niveau. Lorsque la teneur en eau varie entre 12,5 et 13 %, les moisissures n'entraîneront probablement pas une perte de l'aptitude technologique du soja dans l'année, même si la température favorise leur croissance; par contre, la germination pourrait en être gênée. Le développement de moisissures de conservation dans du soja dont les teneurs en eau vont jusqu'à 13 % peut toutefois présenter un danger : il peut s'intensifier de façon soudaine, inexpliquée et parfois incontrôlable et provoquer l'échauffement des fèves.

Dans le cas d'un ensilage prolongé, les fèves de soja qui sont légèrement ou moyennement envahies par des moisissures de conservation sont davantage menacées que les fèves saines et peuvent se détériorer plus rapidement. Une fois

que les moisissures de conservation ont partiellement envahi les graines, elles peuvent continuer de croître et de causer des dégâts à des teneurs en eau et à des températures légèrement plus basses qu'elles ne le feraient dans du soja sain.

Directives de séchage Les températures maximales pour sécher le soja sans l'endommager sont de 43° C lorsqu'on le destine à servir de semence et de 49° C lorsqu'on le destine à des utilisations commerciales.

Facteurs de déclassement Le soja est déclassé lorsqu'il contient des fèves échauffées, moisies ou rances, ou qu'il dégage une odeur d'échauffement ou une nette odeur de moisi ou une odeur désagréable. Les fèves échauffées sont déclassées suivant des exigences de classement reconnues. Aux fins du classement, on tient compte des fèves moisies et rances en même temps que des fèves échauffées. Le soja qui renferme plus de 5 % de fèves échauffées ou qui dégage une nette odeur d'échauffement ou de moisi est classé *Échantillon*.

Aspect des fèves échauffées, moisies et rances Dans le soja échauffé, la couleur du tégument varie de l'olive au brun foncé et celle des cotylédons, sur des fèves coupées en deux, de l'ocre au brun foncé. Les fèves moisies sont ridées et déformées, ont une couleur qui varie de brun moyen à brun foncé et sont souvent couvertes d'une moisissure grise. Elles peuvent aussi avoir une texture spongieuse et une odeur désagréable. Les fèves rances présentent une coloration rose foncé.

Teneur en eau (%)	**Stock destiné à des utilisations commerciales**	**Stock destiné à servir de semence**
10-11	4 ans	1 an
10-12,5	De 1 à 3 ans	6 mois
13-14	De 6 à 9 mois	Douteux, germination à vérifier
14-15	6 mois	Douteux, germination à vérifier

Problèmes d'entreposage La plupart des cas graves de perte de qualité du soja entreposé sont attribuables à un manque de connaissance des conditions exactes qui prévalent dans les différentes parties de la masse. Les responsables doivent connaître, à tout moment, les teneurs en eau et les températures des fèves au sein de la masse et les maintenir à de faibles niveaux afin d'éviter le développement de moisissures. L'état des stocks au début de l'entreposage influence grandement leur conservabilité future. Les problèmes d'entreposage sont aggravés par la mise en cellules de fèves déjà légèrement ou moyennement envahies par des moisissures de conservation, par la présence d'une quantité importante de fèves cassées ou fendues et par la présence de semences fines dans les goulottes. Les fèves cassées

ou fendues ainsi que les semences fines (surtout des graines de mauvaises herbes) constituent des cibles de prédilection pour l'échauffement et la détérioration qui s'ensuit. Celle-ci commence généralement dans les goulottes parce que les graines de mauvaises herbes à teneur élevée en eau s'y accumulent, empêchant l'air de pénétrer durant la ventilation. Même si, au moment de la mise en cellules, le soja contient seulement de 2 à 5 % de semences fines, les goulottes peuvent en compter entre 50 et 80 %.

Le ressuage constitue aussi un sujet d'inquiétude. Il se produit quand on retire les fèves refroidies de la cellule et qu'on les expose à un air qui est chargé d'une humidité relative élevée et dont la température est de 8 à 10° C supérieure à celle des fèves. Dans ces conditions, l'humidité de l'air se condense sur les fèves et, lorsqu'on les remet dans la cellule, l'effet cumulatif du ressuage peut causer de l'échauffement.

Le danger de combustion spontanée du soja est réel, puisque, contrairement aux températures d'échauffement des céréales qui ne dépassent pas habituellement 55° C, les températures atteintes par le soja lors de l'échauffement peuvent dépasser 200° C. À une telle température, le poids sec des graines endommagées par l'échauffement diminue de 30 % au moins.

Renseignements additionnels

Pour obtenir de plus amples renseignements sur la répression des infestations dans le grain entreposé à la ferme, écrire aux adresses suivantes :

- Protection of Stored Grains and Oilseeds Study, Centre de recherche sur les céréales, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 195, chemin Dafoe, Winnipeg (Man.) R3T 2M9. Téléphone : (204) 983-5533 http://www.agr.gc.ca/science/winnipeg/

- Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba, Winnipeg (Man.). http://www.unmanitoba.ca/faculties/agricultural_and_food_sciences/biosystems_engineering/home.html

- l'entomologiste, Commission canadienne des grains, 303, rue Main, Winnipeg (Man.) R3C 3G8 http://www.cgc.ca

- entomologistes et services de vulgarisation provinciaux.

Ce document est disponible sur Internet au site du Centre de recherche sur les céréales : http://www.agr.gc.ca/science/winnipeg/

Remerciements

Les auteurs remercient R.W. Sims d'avoir fourni les photographies et les illustrations.

Mise en page : R. Sims, M. Shillinglaw, Centre de recherche sur les céréales, Winnipeg.

Noms vernaculaires et scientifiques
Des principaux ravageurs du grain entreposé

Cadelle	*Tenebroides mauritanicus* (Linnaeus)
Calandre des grains	*Sitophilus granarius* (Linnaeus)
Charançon du maïs	*Sitophilus zeamais* (Motschalsky)
Charançon du riz	*Sitophilus oryzae* (Linnaeus)
Ciron de la farine	*Acarus siro* Linnaeus
Ciron des champignons	*Typophagus putrescentiae* (Schrank)
Cucujide dentelé des grains	*Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus)
Cucujide des grains	*Ahasverus advena* (Waltl)
Cucujide plat	*Cryptolestes pusillus* (Schönherr)
Cucujide roux	*Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)
Petit perceur des céréales	*Rhyzopertha dominica* (Fabricius)
Psocoptères	*Lepinotus reticulatus* Enderlein *Liposcelis bostrychophilus* Badonnel et autres espèces
Ptine velu	*Ptinus villiger* (Reitter)
Pyrale de la farine	*Pyralis farinalis* Linnaeus
Pyrale indienne de la farine	*Plodia interpunctella* (Hübner)
Pyrale méditerranéenne de la farine	*Ephestia kuehniella* (Zeller)
Tarsonème des grains	*Tarsonemus granarius* Lindquist
Teigne des semences	*Hofmannophila pseudospretella* (Stainton)
Ténébrion meunier	*Tenebrio molitor* Linnaeus
Tribolium brun de la farine	*Tribolium confusum* Jacquelin du Val
Tribolium noir d'Amérique	*Tribolium audax* Halstead
Tribolium noir d'Europe	*Tribolium madens* (Charpentier)
Tribolium rouge de la farine	*Tribolium castaneum* (Herbst)
	Aeroglyphus robustus (Banks)
	Cheyletus eruditus (Schrank)
	Cryptophagus varus Woodroffe & Coombs
	Endrosis sarcitrella (Linnaeus)
	Lathridius minutus (Linnaeus)
	Lepidoglyphus destructor (Schrank)

Références

Bousquet, Y. 1990. Beetles associated with stored products in Canada: An identification guide. Agric. Can. Publ. 1837. 224 pp.

Commission canadienne des grains. 2001. Guide officiel du classement des grains (édition de 2001). Commission canadienne des grains, Winnipeg (Man.). 451 pp.

McKenzie, B.A., Van Fossen, L., Stockdale, H.J. 1980. Managing dry grain in storage. Agric. Eng. Digest 20. 10 pp.

Sinha, R.N., Watters, F.L. 1985. Insectes nuisibles des minoteries, des silos-élévateurs, des usines à provendes et méthodes de désinfestation. Agric. Can. Publ. 1776. 290 pp.

Lectures additionnelles

Anonyme. 1984. La conservation des grains secs. Gouvernement du Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Publ. 84-0018. 48 pp.

Atlantic Agriculture. 1985. Field crop guide for the Atlantic Provinces 1985-1990. Ministries of Agriculture of New Brunswick, Prince Edward Island, Newfoundland, and Nova Scotia. Publ. 100. Agdex 100.32. 52 pp.

Bereza, K. 1986. Insects in farm-stored grain. Ontario Ministry of Agriculture and Food. Publ. 229. Agdex 100.623. 12 pp.

Bond, E.J. 1984. Manual of fumigation for insect control. FAO Plant Prot. Bull. 54. 432 pp.

Friesen, O.H. 1981. Heated-air grain dryers. Agric. Can. Publ. 1700. 25 pp.

Gerber, H.S., Buonassissi, A. 1988. Successful management of farm-stored grain. Pest control notes. Ministry of Agriculture and Fisheries, British Columbia. 3 pp.

Jayas, D.S., White, N.D.G., Muir, W.E. (eds). 1995. Stored Grain Ecosystems. Marcel Dekker, N.Y. 757 pp.

Mills, J.T. 1989. La détérioration et l'échauffement des produits agricoles entreposés : comment les prévenir, les détecter et y remédier. Agric. Can. Publ. 1823F. 115 pp.

Morris, D., Bereza, K. 1982. Harvesting and storing quality grain corn. Ontario Ministry of Agriculture and Food. Agdex 111.736. 5 pp.

Muir, W.E. 1999. Grain preservation biosystems: Dept. Biosystems Engineering, University of Manitoba, Winnipeg, M.B. 400 pp.

Sauer, D.B. (ed.). 1992. Storage of cereal grains and their products, 4th edn. Amer. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minnesota. 615 pp.

Sinha, K.K., Bhatnagar, D. (eds.). 1998. Mycotoxins in agriculture and food safety. Marcel Dekker, NY. 511 pp.

Spieser, H. 1983. Digital thermometer for grain temperature sensing. Ontario Ministry of Agriculture and Food., Agdex 111.736. 4 pp.

Facteurs de conversion pour le système métrique

Unités impériales	Facteur de conversion	Unités métriques	
Longueur			
pouce	x 25	millimètre	(mm)
pied	x 30	centimètre	(cm)
verge	x 0,9	mètre	(m)
mille	x 1,6	kilomètre	(km)
Surface			
pouce carré	x 6,5	centimètre carré	(cm^2)
pied carré	x 0,09	mètre carré	(m^2)
verge carrée	x 0,836	mètre carré	(m^2)
mille carré	x 259	hectare	(ha)
acre	x 0,40	hectare	(ha)
Volume			
pouce cube	x 16	centimètre cube	(cm^3, mL, cc)
pied cube	x 28	decimètre cube	(m^3)
verge cube	x 0,8	mètre cube	(m^3)
once liquide	x 28	millilitre	(mL)
chopine	x 0,57	litre	(L)
pinte	x 1,1	litre	(L)
gallon impérial	x 4,5	litre	(L)
gallon US	x 3,8	litre	(L)
Masse			
ounce	x 28	gramme	(g)
livre	x 0,45	kilogramme	(kg)
tonne courte (2 000 lb)	x 0,9	tonne	(t)
Température			
degrés Fahrenheit	(^{0}F-32) x 0,56 ou (^{0}F-32) x 5/9	degrés Celsius	(^{0}C)
Pression			
livres par pouce carré	x 6,9	kilopascal	(kPa)
Puissance			
cheval-vapeur	x 746	watt	(W)
	x 0,75	kilowatt	(kW)
Vitesse			
pieds par seconde	x 0,30	mètres par seconde	(m/s)
milles à l'heure (mi/h)	x 1,6	kilomètres à l'heure	(km/h)
Agriculture			
gallons par acre	x 11,23	litres par hectare	(L/ha)
pintes par acre	x 2,8	litres par hectare	(L/ha)
chopines par acre	x 1,4	litres par hectare	(L/ha)
onces liquides par acre	x 70	millilitres par hectare	(mL/ha)
tonnes par acre	x 2,24	tonnes par hectare	(t/ha)
livres par acre	x 1,12	kilogrammes par hectare	(kg/ha)
onces par acre	x 70	grammes par hectare	(g/ha)
plantes par acre	x 2,47	plantes par hectare	(plantes/ha)

